



Cátia Alexandra Leça Graça

Mestrado Integrado em Engenharia Química e Bioquímica

Pegada Hídrica: um estudo de caso de água cinzenta de um produto agrícola

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Química e Bioquímica

Orientador: Doutor David da Silva e Sousa (CESTRAS)
Co-orientador: Professor Doutor José Paulo Mota (FCT/UNL)

Júri:

Presidente: Prof. Doutor José Paulo Mota
Arguente: Prof. Doutora Maria Conceição dos Santos



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Julho de 2011



Pegada Hídrica: um estudo de caso de água cinzenta para um produto agrícola
Cátia Graça

AGRADECIMENTOS

Este trabalho não teria sido possível de concretizar sem a colaboração de várias pessoas que intervieram não só na sua elaboração, mas também no percurso da sua execução. Sem elas o trabalho teria sido certamente mais moroso e elaborado de uma forma menos entusiasta.

Como tal, gostaria de agradecer a todos aqueles que, de uma forma directa ou indirecta, tornaram possível a concretização deste projecto, e que passo a nomear:

Em primeiro lugar , ao meu coordenador e director do CESTRAS, o Doutor David da Silva e Sousa, pela sua paciência, disponibilidade e incentivo prestados ao longo de todo o estudo.

Em segundo lugar à Engenheira Inês Vinagre da TORRIBA SA., pela sua colaboração e cedência de informação imprescindível à elaboração do trabalho.

Em terceiro lugar, à Professora Doutora Isabel Peres, Professora Doutora Alexandra Ribeiro e Professor Doutor José Paulo Mota, que sempre me tentaram orientar na concretização deste trabalho.

Em último lugar, mas não menos importante, a todos os meus familiares , amigos e colegas do CESTRAS, por todo o apoio, motivação e compreensão que demonstraram.

RESUMO

A presente dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Química e Bioquímica, foi realizada no âmbito de um estágio no Centro de Estudos e Estratégias para a Sustentabilidade (CESTRAS) e tem como principal objectivo o cálculo do componente de água cinzenta da Pegada Hídrica para uma cultura de tomate em Portugal, através da implementação da metodologia proposta pela *Water Footprint Network* (WFN).

A Pegada Hídrica pretende dar resposta à necessidade crescente de uma gestão sustentável dos recursos hídricos, dado que vem dar conta dos volumes de água normalmente ignorados, revelando assim o consumo hídrico efectivo necessário para a obtenção de um produto, de uma organização ou população. No caso particular do componente de água cinzenta de uma cultura agrícola, este revela o volume de água necessário para incorporar uma determinada carga de agroquímicos, de forma a que a sua concentração nas águas que os acolhem não ultrapasse o valor decretado nos parâmetros de qualidade ambientais.

Esta investigação foi feita com base em dados locais, que , por sua vez, foram disponibilizados no âmbito do projecto no CESTRAS, consistindo assim num estudo-piloto que pretende contribuir para a melhoria da metodologia actual da Pegada Hídrica. Além disso, os resultados obtidos possibilitaram a elaboração de uma análise preliminar da sustentabilidade da actividade produtiva, no que toca à sua utilização e poluição dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Pegada Hídrica, água cinzenta, sustentabilidade hídrica, poluição hídrica, agroquímicos.

ABSTRACT

This MSc thesis in Chemical and Biochemical Engineering was produced during a stage at the Centre of Studies and Strategies for Sustainability (CESTRAS). The main goal of the research was to calculate the Grey Water Footprint component of a tomato crop in Portugal, applying the methodology proposed by the Water Footprint Network (WFN).

The water footprint indicator intends to response to the growing need of a sustainable management of water resources, by revealing volumes of water usually ignored and showing the actual water consumption of a given product, organization or population. The particular case of the grey water footprint component of a crop reveals the volume of water needed to assimilate a certain load of chemicals, so that their concentrations in receiving water bodies remains below agreed water quality standards.

This research relied mostly on local data, which were made available under CESTRAS's project, and therefore offers a pilot-study that may contribute to the advancement of the water footprint methodology. Also, the results allowed for a preliminary sustainability analysis of the crop production, regarding its use and impact over water resources.

Keywords: water footprint, grey water, water sustainability, water pollution, agrochemicals

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

α - Fracção de lixiviação de poluente

R - Atenuação de poluente ao longo do percurso no interior do solo

Abstr – Volume de água captada (volume/tempo)

ACCA, *Association of Chartered Certified Accountants* - Associação de auditores certificados.

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

Appl – Quantidade de químicos aplicados no solo (massa/tempo)

AR, *Application Rate* – Taxa de aplicação de químico (kg/ha)

C_{act} – concentração actual de químico no corpo de água receptor (Kg/L)

CE – Comissão Europeia

C_{eff} – concentração de poluente num efluente (kg/L)

CESTRAS – Centro de Estudos e Estratégias para a Sustentabilidade

$C_{m\acute{a}x}$ – concentração máxima de químico permitida por lei (Kg/L)

C_{nat} – concentração natural de químico no corpo de água receptor (Kg/L)

C_{solo} – concentração de químico no solo (Kg/L)

CWU, *Crop Water Use* – Uso de água pela cultura (m³/Ton)

CWU_{azul} – Uso de água azul pela cultura (m³/ton)

CWU_{verde} - Uso de água verde pela cultura (m³/ton)

DDT – Dicloro-difenil-tricloroetano

DGA – Direcção Geral do Ambiente

DGADR – Direcção Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural

DL – Decreto Lei

DQA – Directiva - Quadro da Água

EEA, *European Enviroment Agency* – Agência Europeia do Ambiente

Effl – Volume de Efluente (volume/tempo)

EPA, *Enviromental Protection Agency* – Agência da Protecção Ambiental

EPI, *Enviromental Performance Index* – Índice de desempenho ambiental

FAO, *Food and Agriculture Organization* – Organização do alimento e da agricultura

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano

INAG – Instituto da Água.

L, *Load* – Carga de poluente (kg)

L_c , *critical load* – Carga crítica de poluentes (kg)

L_{solo} – carga de poluentes no solo (kg)

OCDE - Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Económico

PIB – Produto Interno Bruto

PNA – Plano Nacional Água

R, *Runoff* – Escoamento (volume/tempo)

R_{act} - Escoamento actual (volume/tempo)

SAU – Superfície Agrícola Utilizada

SIDS – Sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável

SNIRH – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

UN, *United Nations* - Nações Unidas

UNDP, *United Nations Development Programme* – Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas

US - EPA , US - *Environmental Protection Agency* – Agência de protecção ambiental dos Estados Unidos.

WBCSD, *World Business Council for Sustainable Development* – Conselho empresarial mundial para o desenvolvimento sustentável

WCED, *World Commission on Environment and Development* – Comissão Mundial do Ambiente e do Desenvolvimento

WF, *Water Footprint* - Pegada Hídrica

WF_{azul} – Pegada Hídrica Azul

$WF_{cinzenta}$ - Pegada Hídrica cinzenta

WFN – *Water Footprint Network* – Rede da Pegada Hídrica

$WF_{processo}$ – Pegada Hídrica de um processo

WF_{verde} – Pegada Hídrica verde

WPL, *Water Pollution Level* – nível de poluição hídrico

Y, *Yield* – Rendimento da cultura (ton/ha)

“When the well’s dry, we know the worth of water”

Benjamin Franklin

“O Homem mal consegue reconhecer até mesmo os males da sua própria criação.”

Albert Schweitzer

ÍNDICE

1.	PLANO DE TRABALHO	1
2.	INTRODUÇÃO.....	3
2.1.	CONTEXTUALIZAÇÃO AMBIENTAL.....	3
2.2.	A UTILIZAÇÃO DE INDICADORES DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	7
2.3.	O USO DE AGROQUÍMICOS	10
2.3.1.	<i>PESTICIDAS</i>	11
2.3.2.	<i>FERTILIZANTES</i>	17
3.	OBJECTIVOS.....	23
4.	PEGADA HÍDRICA: CONCEITO.....	25
5.	PEGADA HÍDRICA CINZENTA	31
5.1.	METODOLOGIA.....	31
5.2.	PEGADA HÍDRICA DE UMA CULTURA EM CRESCIMENTO.....	34
5.3.	FUNDAMENTOS DO CÁLCULO DA PEGADA HÍDRICA CINZENTA	36
6.	NOTA METODOLÓGICA.....	41
7.	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	49
7.1.	TÓXICOS USADOS	49
7.2.	RESULTADOS DE CÁLCULO DA ÁGUA CINZENTA.....	49
7.3.	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DE CÁLCULO DA ÁGUA CINZENTA.....	52
7.4.	AValiação da sustentabilidade da pegada hídrica cinzenta	54
8.	CONCLUSÕES.....	59
9.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	61
10.	BIBLIOGRAFIA.....	63
	ANEXO I – PLANO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO TEJO	71

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1- O NOSSO MUNDO CADA VEZ MAIS RICO E COM CADA VEZ MAIS SEDE.	4
FIGURA 2- DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NA EUROPA PER-CAPITA, EM 2001.	5
FIGURA 3- GIRINOS COM DEFORMAÇÕES CAUSADAS PELOS PESTICIDAS.	15
FIGURA 4- CONSUMO APARENTE DE DIFERENTES TIPOS DE FERTILIZANTES INORGÂNICOS AZOTADOS, FOSFATADOS E POTÁSSICOS NA AGRICULTURA.	19
FIGURA 5- ÁREA DE AGRICULTURA BIOLÓGICA, POR REGIÃO AGRÁRIA, EM PORTUGAL CONTINENTAL E SUPERFÍCIE AGRÍCOLA UTILIZADA (SAU).	21
FIGURA 6- REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DOS COMPONENTES DA PEGADA HÍDRICA.	26
FIGURA 7- O USO DIRECTO E INDIRECTO DA ÁGUA EM CADA ETAPA DA CADEIA DE ABASTECIMENTO DE UM PRODUTO ANIMAL.	26
FIGURA 8- AS QUATRO FASES DA AVALIAÇÃO DA PEGADA HÍDRICA.	27
FIGURA 9- PEGADA HÍDRICA DE ALGUNS PAÍSES.	29
FIGURA 10- OS TRÊS COMPONENTES DA PEGADA HÍDRICA DE UMA CULTURA EM CRESCIMENTO.	35
FIGURA 11- EXEMPLO BASE DE DADOS : PRIMEIRO E SEGUNDO BLOCO.	42
FIGURA 12- EXEMPLO BASE DE DADOS: CONTINUAÇÃO DO SEGUNDO BLOCO E BLOCO ÁGUA CINZENTA	43
FIGURA 13- EVOLUÇÃO DA PEGADA HIDRICA CINZENTA AO LONGO DO TEMPO.	50
FIGURA 14- PESO PERCENTUAL DE CADA ANO NA PEGADA CINZENTA MÉDIA FINAL.	51
FIGURA 15- CURVAS DE ESCOAMENTO ANUAL PARA ESTAÇÕES HIDROMÉTRICAS DO TRAMAGAL E ÓMNIAS.	55
FIGURA 16- SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS PRINCIPAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO TEJO.	71

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1- SÍNTESE DE ALGUMAS VANTAGENS E LIMITAÇÕES DA APLICAÇÃO DE INDICADORES DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.	8
TABELA 2- FRACÇÃO DE LIXIVIAÇÃO POR ORDEM DECRESCENTE DE TOXICIDADE (IUPAC).	45
TABELA 3- PEGADA HÍDRICA CINZENTA ANUAL.	49
TABELA 4 - ANOS COM MAIOR PEGADA HÍDRICA CINZENTA	50
TABELA 5-RESULTADOS DO NÍVEL DE POLUIÇÃO HÍDRICA ANUAL.	55

1. PLANO DE TRABALHO

A investigação que está na base desta dissertação foi desenvolvida no contexto de um estágio no Centro de Estudos e Estratégias para a Sustentabilidade (CESTRAS), parceira em Portugal da organização WFN, com a qual colabora no desenvolvimento metodológico, na aplicação e na divulgação da Pegada Hídrica. Esta investigação consistiu num estudo da Pegada Hídrica do tomate no universo de produtores de uma empresa de hortifruticultura instalada na bacia do Tejo.

A metodologia de investigação adoptada partiu de uma revisão bibliográfica do estado da arte, assim como da definição da área de intervenção e pesquisa de dados. Foram abordadas com maior detalhe as fontes referentes ao cálculo da Pegada Hídrica em culturas em crescimento (Chapagain, 2006) e foi detectada a relevância dos pressupostos a adoptar para a elaboração do cálculo.

Seguidamente procedeu-se à elaboração de uma base de dados, por forma a organizar os dados que foram facultados, facilitando assim a realização dos futuros cálculos.

A terceira fase do trabalho consistiu no cálculo da Pegada Hídrica cinzenta propriamente dito. Este foi realizado por produtor, na medida em que a organização de produtores hortofrutícolas que nos facultou os dados possuía algum interesse em ter noção de qual ou quais os produtores que mais contribuem para o valor final da pegada. Realizando uma média aritmética das pegadas de todos os produtores existentes num determinado ano, obteve-se a Pegada Hídrica cinzenta média anual.

Por fim, os resultados foram revistos pela WFN.

Esta dissertação encontra-se dividida em 9 capítulos, sendo que o primeiro baseia-se no plano de trabalho, onde se pode encontrar não só a forma como foi organizada a investigação, mas também toda a organização do documento.

No segundo capítulo apresenta-se a introdução, onde, numa primeira abordagem, se faz uma sensibilização para a escassez dos recursos hídricos numa perspectiva global, europeia e nacional em particular. Ainda neste capítulo faz-se uma breve introdução histórica relativa tanto ao uso de indicadores de sustentabilidade como ao de agroquímicos, assim como se aborda toda a controvérsia ambiental inerente aos mesmos. Já que, neste trabalho, existe um maior interesse no comportamento dos pesticidas nas águas, neste capítulo mencionam-se não só os processos físico-químicos aos quais os pesticidas são sujeitos, mas também as directivas que implementam os seus limites máximos nas águas.

No capítulo três procede-se a uma descrição dos objectivos do trabalho e da forma como este pode servir para a melhoria da gestão de agroquímicos no sector agrícola.

O conceito da Pegada Hídrica é introduzido no quarto capítulo, onde se mencionam os vários componentes deste indicador, assim como as etapas a ter em consideração numa avaliação detalhada do mesmo.

A metodologia da Pegada Hídrica cinzenta e os fundamentos do seu cálculo encontram-se descritos no capítulo cinco, onde se desenvolve o conceito do indicador para o caso de uma cultura em crescimento e as suas possíveis interpretações em diferentes cenários. Aqui abordam-se as fontes que nos permitem obter os dados que entram no cálculo, ao passo que no capítulo seis são revelados esses mesmos dados e os pressupostos assumidos na falta destes, sendo o último nomeado como nota metodológica.

No sétimo capítulo dá-se a apresentação e discussão dos resultados seguido das conclusões do trabalho, apresentadas no capítulo oito.

Por último, no capítulo nove, sugerem-se ideias para trabalhos futuros, tendo por base as maiores dificuldades encontradas no presente trabalho.

2. INTRODUÇÃO

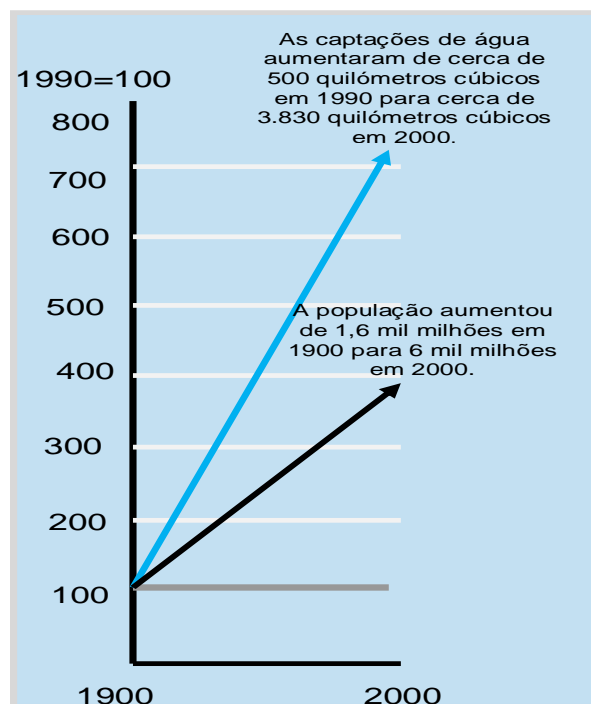
2.1. CONTEXTUALIZAÇÃO AMBIENTAL

Nos últimos anos, as alterações climáticas e as emissões de carbono têm constituído as principais preocupações ambientais, ao ponto de se terem colocado em segundo plano outras questões ambientais não menos importantes, que é o caso da água. Segundo a ACCA¹, nos próximos anos a água deverá ocupar o lugar central das preocupações de natureza ambiental, não por substituição das anteriores, mas pela sua integração como factor-chave na equação da sustentabilidade. Isto principalmente no contexto da discussão sobre o clima, dado que muitos dos efeitos mais adversos das alterações climáticas se ligam justamente, de forma directa ou indirecta, à crescente escassez de recursos hídricos (ACCA, 2009). Foi inclusivamente elaborado um documento de contributo para a Cimeira do Clima de Copenhaga (Dezembro de 2009), pelo Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (WBCSD), salientando precisamente a necessidade de integrar e olhar conjuntamente para as questões do clima, da energia e da água (WBCSD, 2009).

Se toda a água potável existente no nosso planeta fosse distribuída proporcionalmente pela população mundial, existiriam cerca de 5000-6000 m³ de água, anualmente, por pessoa. Contudo, os recursos hídricos encontram-se distribuídos de forma bastante desigual, assim como desigual é a distribuição da população. Aliás, o que se verifica no nosso planeta é que as zonas onde existe maior escassez de água são também as zonas com maior densidade populacional, pelo que a disponibilidade de água potável também é reduzida (UN-WATER, 2007). Então, quando a quantidade de água é insuficiente para satisfazer a procura, estamos perante escassez física de água. Por exemplo, cerca de um quarto das provisões mundiais de água doce encontram-se no Lago Baikal, situado na região escassamente povoada da Sibéria (UNDP, 2006).

No último século, a utilização da água tem vindo a crescer a um ritmo duas vezes superior à taxa de crescimento populacional e, embora ainda não haja escassez de água a nível Mundial, um crescente número de populações têm vindo a sofrer de escassez crónica de água (ver figura 1). Porém, não é somente o rápido crescimento populacional o factor responsável pela escassez de água nas próximas décadas, havendo mais três principais forças motrizes. Um delas é o facto do mundo se encontrar cada vez mais urbanizado, o que fará com que a procura de água se foque cada vez mais numa população concentrada. Outra razão é o seu consumo doméstico per capita, que se espera que aumente nas próximas décadas à medida que o mundo se torna cada vez mais desenvolvido. A estes três factores, que aumentam a pressão sobre os recursos de água potável, junta-se a alteração climática, a qual afecta as reservas de água disponíveis (UN-WATER, 2007).

¹ ACCA=Association of Chartered Certified Accountants, a principal organização de auditores a nível mundial.



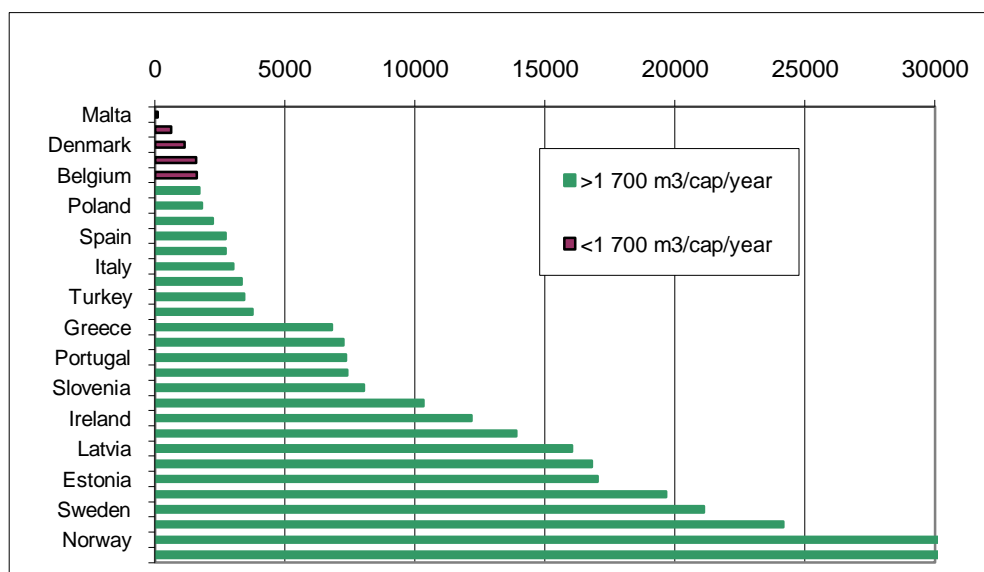
Fonte: Relatório do Desenvolvimento Humano, 2006.

FIGURA 1- O nosso mundo cada vez mais rico e com cada vez mais sede.

O cenário hídrico na Europa é relativamente mais favorável que o mundial, não deixando contudo de ser objecto de maior atenção política. Na regulamentação ambiental da União Europeia, a água consiste no sector com a cobertura mais abrangente, sendo por muitos considerada a “jóia da coroa” da política ambiental Europeia. Devido à sua tamanha importância, a água foi um dos primeiros sectores respeitantes à preocupação ambiental sobre o qual a Comunidade Europeia se debruçou. Inclusivamente, o primeiro programa de acção ambiental realizado pela Comunidade incluiu a implementação de directivas da qualidade da água destinadas ao consumo e higiene Humana, assim como directivas respeitantes ao lançamento de substâncias perigosas no meio aquático (Kallis, et al., 1999). As directivas surgiram também com o objectivo de encarar a água como um bem económico, cuja gestão deverá orientar-se por princípios de eficiência económica, satisfazendo a procura na óptica da sustentabilidade. Tal é exemplo a Declaração de Dublin da Conferência Internacional da Água e do Ambiente (1992), onde no Princípio 4 se refere que: “A Água tem um valor económico em todos os seus usos, devendo ser reconhecido como um bem económico”, recaindo a necessidade emergente de colocar a água com tal classificação devido à sua escassez cada vez mais eminente.

Tal como no cenário global, na Europa existem fortes discrepâncias na disponibilidade de água per capita entre países do Norte e países do Sul (ver figura 2). Segundo os dados, doze países possuem menos de 4000 m³/per capita/ano, ao passo que os países nórdicos são os detentores dos maiores volumes de água na Europa. No continente Europeu, apenas dois países, Malta e Chipre, possuem

menos de 500 m³/per capita/ano, sendo portanto considerados países afectados pela escassez de água.



Fonte: Eurostat, 2001.

FIGURA 2- Disponibilidade de água na europa per-capita, em 2001.

A actividade responsável pelo maior gasto de água na Europa é a agricultura, especialmente no que toca ao uso de água para irrigação. De acordo com um relatório da Comissão Europeia, emitido em 2006, a água para fins agrícolas é cerca de 80% das captações hídricas na Grécia, seguido de Espanha com 72%, Itália com 60% e Portugal com 59%. (EC ,2006).

O consumo hídrico agrícola é particularmente sensível, devido aos impactes que um aumento do custo da água podem ter sobre esta actividade económica. Um dos perigos óbvios é o de que as pessoas cuja subsistência depende da agricultura mas que não possuem elevado poder económico ou peso político, venham a ficar para trás (UNDP, 2006). Este aumento é previsível, uma vez que a Directiva-Quadro da Água determina que até 2010 os custos associados aos serviços agrícolas deverão ser recuperados (artº 9). Portugal, estando entre os países com mais elevados consumos hídricos agrícolas, encontra-se em situação particularmente delicada a este nível: segundo as conclusões do Plano Nacional da Água (PNA), os preços e as taxas actualmente praticados cobrem apenas parcialmente os custos e serviços (INAG ,2004). A procura de água em Portugal está estimada em cerca de $7\,500 \times 10^6$ m³/ano, a que corresponde um valor global provável para a sociedade de $1\,880 \times 10^6$ €/ano, tendo por base os custos reais da água², o que representa cerca de 1,65% do Produto Interno Bruto português. O sector que mais contribui em Portugal para esta procura é a agricultura, com um volume total de cerca de $6\,550 \times 10^6$ m³/ano (87% do total), contra 570×10^6

² Custos reais são considerados todos os custos englobados no abastecimento de água para uso urbano, agrícola e industrial, assim como nas etapas de tratamentos, captação e drenagem.

m³/ano no abastecimento urbano às populações (8% do total) e 385 x 10⁶ m³/ano na indústria (5% do total) (INAG ,2001).

Porém, tudo indica que nos próximos tempos o valor, o custo e o preço da água venham a constituir um dos vectores marcantes da gestão dos recursos hídricos e também por isso deverão assumir a natureza paradigmática da futura política nacional dos recursos hídricos. Como tal, deve-se realizar uma análise económica às utilizações de água no país e que constituirá o estado de referência da situação existente. Nesta análise os preços deverão ser estabelecidos para cada tipo de utilizador, designadamente para a rede urbana, agricultura, indústria e energia, bem como para os outros sectores utilizadores (INAG ,2004).

A preocupação com o uso eficiente da água torna-se, por todas estas razões, cada vez mais relevante, seja ao nível dos países, das organizações ou das famílias. É neste contexto que surge o conceito de “água virtual” ou “Pegada Hídrica” (water footprint) o qual pretende, simultaneamente, dar conta de dimensões do uso da água habitualmente ignoradas, e comunicar de forma eficaz e intuitiva o consumo efectivo necessário para a obtenção de um produto, a actividade de uma organização ou o funcionamento de uma economia.

2.2. A UTILIZAÇÃO DE INDICADORES DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A Pegada Hídrica é um indicador de sustentabilidade ambiental ao nível dos recursos hídricos e, como tal, inscreve-se num esforço global de procura de indicadores de orientação para o desenvolvimento sustentável. Este sub-capítulo pretende constituir um enquadramento sumário deste contexto.

O conceito mais clássico de desenvolvimento sustentável é aquele que o define como um processo evolutivo que permite às gerações presentes satisfazer as suas necessidades sem que com isso ponham em risco a possibilidade das gerações futuras virem a satisfazer as suas próprias necessidades (WCED, 1987). Uma das muitas dificuldades que este desafio coloca consiste em encontrar indicadores que permitam monitorizar e avaliar o grau de sustentabilidade dos modelos de desenvolvimento seguidos, particularmente no domínio ambiental: enquanto os indicadores de desenvolvimento económico se encontravam estabilizados há várias décadas, e uma multiplicidade de indicadores para as dimensões sociais vinham sendo propostos, no período que se seguiu à primeira cimeira dedicada à crise ambiental (1972) o maior desafio consistia em encontrar indicadores que pudessem dar conta justamente desta dimensão ambiental. Por outro lado, tornou-se perceptível a necessidade de articular os diferentes indicadores, nas várias dimensões, para que, no seu conjunto, oferecessem um retrato de um dado modelo de desenvolvimento, e da sua sustentabilidade. Tal foi o apelo efectuado na Cimeira do Desenvolvimento Sustentável, de 1992, na célebre Agenda 21³.

No seguimento deste apelo, foi desenvolvido um esforço, a nível internacional, para encontrar os conjuntos, ou sistemas, de indicadores, mais adequados à realidade dos países. A título de exemplo, cite-se o caso de Portugal, que teve uma primeira proposta de sistema de indicadores de desenvolvimento sustentável (SIDS) pronta em 2000, e que veio a adoptar uma versão definitiva em 2007, entretanto com actualizações sucessivas (DGA, 2000).

O tempo decorrido entre o início deste processo e a sua conclusão, em Portugal, ilustra de alguma forma a complexidade da tarefa de selecção de indicadores adequados, com amplas implicações teóricas, técnicas e políticas, que não serão abordadas nesta breve nota introdutória, indicando-se apenas, de forma sintética, um elenco de vantagens e limitações identificadas pela equipa que elaborou a primeira proposta de SIDS nacional (tabela 1).

³ Informação disponível em www.agenda21local.com.br

TABELA 1- Síntese de algumas vantagens e limitações da aplicação de indicadores de desenvolvimento sustentável.

Vantagens	Limitações
<ul style="list-style-type: none"> - Avaliação dos níveis de desenvolvimento sustentável; - Capacidade de sintetizar a informação de carácter técnico/científico; - Identificação de variáveis-chave do sistema; - Facilidade de transmitir informação; - Bom instrumento de apoio à decisão e aos processos de gestão ambiental; - Sublinha a existência de tendências; - Possibilidade de comparação com padrões e/ou metas pré-definidas 	<ul style="list-style-type: none"> - inexistência de informação- base; - Dificuldades na definição de expressões matemáticas que melhor traduzam os parâmetros seleccionados; - Perda de informação nos processos de agregação de dados; - Diferentes critérios na definição de limites de variação do indicador em relação às imposições estabelecidas; - Ausência de critérios robustos na selecção de alguns indicadores; -Dificuldade de aplicação em determinadas áreas.

Fonte: DGA, 2000

Refira-se por outro lado, para contextualização do tema da Pegada Hídrica, que os indicadores agregados, ou compostos, a que pertence este indicador, constituem um sub-grupo particular dentro do conjunto dos indicadores de desenvolvimento sustentável. De alguma forma, os indicadores agregados inspiram-se no conhecido indicador económico Produto Interno Bruto (PIB), desde há muito um indicador de primeira importância na definição das políticas nacionais. O que o PIB veio demonstrar, entre outros aspectos, é o peso que um único valor pode assumir em contexto político, precisamente pela capacidade de apresentar, de forma extremamente simplificada, realidades tão complexas quanto, neste caso, a economia de um país. Um esforço similar, aliás, foi desenvolvido com a criação do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), o qual agrega dados relativos aos rendimentos, saúde e escolaridade das populações, para apresentar, num intervalo entre 0 e 1, um grau de “desenvolvimento humano” (DGA, 2000).

Na dimensão ambiental, existem diversas iniciativas de indicadores agregados. Cite-se, apenas dentre os mais populares e recentes, a Pegada Ecológica ou o *Environmental Performance Index* (GFN, 2011), (EPI, 2010). Devido ao volume de dados implicados, e ao exercício de simplificação que pressupõe, a criação de indicadores deste género comporta também diversos problemas específicos, que tão pouco podem ser aqui tratados. Em geral, importa apenas reter a noção de que os indicadores agregados comportam, de forma quase inevitável, margens de erros assinaláveis as quais, de resto, dificilmente é possível calcular com exactidão (Böhringer, 2007), (Tarantola, 2006). Esta observação deve servir também para a abordagem ao estudo que aqui se apresenta, devendo os resultados obtidos ser recebidos com a necessária prudência.

Por este mesmo motivo, é recomendável a realização de estudos de incerteza e/ou análises de sensibilidade, que permitam uma percepção mais clara dos possíveis erros implicados e, bem assim, confirmem uma maior transparência e solidez aos indicadores em causa (OECD ,2008). No caso da Pegada Hídrica, contudo, estudos deste tipo não foram ainda realizados, segundo refere a equipa do projecto “*Integrating Ecological, Carbon and Water Footprint*” dedicado ao estudo da aplicação dos indicadores da “footprint family” (pegada ecológica, hídrica e do carbono) (OPEN:EU ,2011).

2.3. O USO DE AGROQUÍMICOS

Como esta dissertação se centra na Pegada Hídrica provocada pela utilização de agroquímicos no meio agrícola, considerou-se importante incluir este capítulo introdutório referente a essa família de substâncias.

Os agroquímicos consistem numa grande família de químicos utilizados na agricultura, podendo estes ser pesticidas ou fertilizantes. Os primeiros têm por finalidade combater e evitar a destruição, total ou parcial, das culturas, ao passo que os fertilizantes são aplicados com o intuito de melhorar a produção, sendo também conhecidos como adubos. No entanto, actualmente ambos são imprescindíveis no processo agrícola, gerando elevada controvérsia no que toca aos respectivos impactes ambientais.

Uma das primeiras obras a realçar os efeitos adversos da utilização dos agroquímicos foi "*Silent Spring*" de Rachel Carson, publicada em 1962. Foi assim desencadeado o debate acerca das implicações da actividade humana sobre o ambiente e o custo ambiental da contaminação que provocam. A mensagem era directamente dirigida para ao uso indiscriminado do DDT⁴, uma substância de baixo custo e fácil de preparar, que foi aclamado como o pesticida universal. De entre os mais recentes pesticidas sintéticos existentes até à publicação daquela obra, o DDT tinha-se tornado o mais amplamente utilizado, realidade que mudou drasticamente assim que os seus efeitos ambientais foram intensivamente estudados. Com a publicação de "*Silent Spring*" o debate público sobre agrotóxicos prolongou-se pelos anos 60 e algumas das substâncias listadas pela autora vieram a ser proibidas ou sofreram restrições.

Seguidamente serão abordadas com maior detalhe as duas grandes classes de agroquímicos mencionadas, remetendo para o seu enquadramento histórico e problemática ambiental inerente à sua utilização.

⁴ DDT=Dicloro-difenil-tricloroetano.

2.3.1. PESTICIDAS

Um Pesticida pode ser definido como uma substância química ou agente biológico utilizado em protecção das plantas para reduzir e eventualmente eliminar as populações de organismos que destroem as culturas.

Os seres humanos têm usado pesticidas para impedir danos nas suas colheitas desde aproximadamente 500 a.C (Carapeto, 2011) . Porém, o grande propulsor do uso generalizado de pesticidas sintéticos foi a Segunda Guerra Mundial, pois foi quando os governos locais e federais patrocinaram a pulverização em larga escala de organoclorados, tais como o DDT. Durante a pesquisa de substâncias a serem usadas no decorrer da guerra química, descobriu-se que algumas delas, criadas no laboratório, eram letais para os insectos. Estes eram os animais usados na altura para testar os efeitos das substâncias letais no Homem. O resultado desta descoberta desencadeou consequentemente a produção massiva de insecticidas sintéticos. Estes insecticidas diferem fortemente dos insecticidas inorgânicos que foram usados antes da Segunda Guerra Mundial, uma vez que possuem elevadíssima potência biológica, por sua vez manipulada pelo Homem em laboratório. Os insecticidas antes da Guerra provinham directamente de minerais existentes na Natureza, tais como o Arsénio, Cobre, Chumbo, Manganês e Zinco ou eram extraídos de plantas, tais como o tabaco (Carson, 1962). O uso de pesticidas duplicou desde os anos 50 e anualmente são usadas cerca de 2,5 milhões de toneladas de pesticidas industriais. Actualmente existem cerca de 104 empresas de pesticidas em Portugal, sendo os herbicidas o tipo mais comercializado (Pereira, 2003).

Embora sejam utilizados com o intuito de actuar apenas sobre as espécies- alvo (inimigos das culturas), os pesticidas sofrem um comportamento ambiental complexo após a sua aplicação. Ao executar a sua aplicação ao ar livre, parte pode-se difundir pelo ar e até mesmo ser arrastado pelo vento para fora da área pretendida ("drift"), enquanto que a outra parte recai sobre o solo. Uma vez no solo, o comportamento do pesticida irá depender de vários processos de transporte e transformação.

À superfície do solo os pesticidas podem ser transferidos para a atmosfera por volatilização, transportados para cursos de água, por escoamento superficial ("runoff") ou erosão, ou ser degradados por fotólise. Outros processos abióticos que poderão ocorrer no solo baseiam-se fundamentalmente em reacções de hidrólise e de oxidação-redução, no entanto ocorrem principalmente transformações bióticas, tais como a biodegradação realizada pelos microrganismos do solo. Ainda no solo, os pesticidas podem ser lixiviados, adsorvidos por compostos orgânicos ou minerais do solo ou ser absorvidos pelas plantas. Para efeitos de cálculo da Pegada Hídrica cinzenta, apenas será tida em conta a fracção de químico que atinge o lençol freático por lixiviação ou uma água superficial por escoamento (equação 8) (Pereira, 2003).

Hoje, a utilidade destes produtos químicos é reconhecida, embora haja um consenso de que estes podem causar mais problemas do que aqueles que resolve. Como tal, há que notar que a sua utilização veio proporcionar não só o aumento de produção de alimentos devido à protecção das plantas contra agentes patogénicos, parasitismo, predadores e competição com outras plantas indesejáveis, mas também a protecção da saúde humana ao prevenir certas doenças. No reverso da medalha encontram-se as graves consequências inerentes à sua utilização, tais como a destruição de espécies que não são o alvo do pesticida aplicado, a contaminação ambiental que atinge cadeias alimentares e a indução de mecanismos de defesa às espécies inimigas das culturas (Carson, 1962). A solução para estes problemas poderá estar na utilização racional destas substâncias, ou seja, usar pesticidas em quantidades mínimas, aplicando simultaneamente e sempre que possível outras formas de controlo de pragas. Isto fará com que os pesticidas continuem a trazer benefícios à espécie humana, assim como os riscos ambientais poderão ser minimizados (Carapeto, 2011). No entanto, por menor quantidade que se aplique, os pesticidas sintéticos apresentam elevada persistência no ambiente. Logo, o fabrico de pesticidas sintéticos que não sejam persistentes, isto é, que se degradem rapidamente em produtos inofensivos, será uma maneira de evitar a contaminação das cadeias alimentares. Por outro lado, se os pesticidas se degradarem rapidamente serão necessárias aplicações repetidas do mesmo produto para se verificar a eficácia necessária no combate de pragas. Como se pode constatar, a problemática da persistência dos pesticidas no ambiente é bastante controversa, pois por um lado esta é desejável para o controlo de pragas, mas por outro é indesejável devido à contaminação de cadeias alimentares e destruição de espécies que não são o alvo do pesticida.

Os pesticidas nas águas

A água é uma das vias primárias pelas quais os pesticidas são transportados dos locais onde foram aplicados para outros compartimentos do ciclo hidrológico. Os contaminantes podem atingir as águas superficiais por meio do escoamento das águas da chuva e da irrigação, ou subterrâneas pela drenagem e percolação no solo. A contaminação das águas superficiais pode ter efeitos ecotoxicológicos na fauna e flora aquáticos, assim como na saúde pública se for usada para consumo humano. No entanto, esta contaminação nem sempre se verifica, uma vez que depende fortemente da época agrícola que, normalmente, tem curta duração. O mesmo não acontece nas águas subterrâneas, dado que a sua contaminação possui elevada inércia, o que pode consistir num forte risco para a saúde pública. Este risco deve-se não só à exposição contínua do ser humano, mas também ao facto das águas subterrâneas consistirem na principal fonte de água potável, representando em Portugal 53% da água utilizada para produção de água destinada ao consumo humano. Inclusivamente foram feitos vários estudos em aquíferos subterrâneos circundantes a zonas agrícolas e estes revelam uma constante presença de pesticidas. O seu uso extensivo nestas zonas,

assim como o forte potencial de lixiviação de alguns, podem estar na origem destes resultados (Cerejeira, 2003).

No sentido de prevenir riscos para a saúde humana e proteger a qualidade das águas, foram implementadas várias directivas a nível europeu, como a Directiva 80/778/CEE e Directiva 98/83/CE, referentes à qualidade das águas destinadas a consumo humano; e Directiva 2000/60/CE, denominada por Directiva-Quadro da Água (DQA). Por outro lado, estabeleceram-se políticas com uma estratégia integrada de protecção e gestão das águas, com o objectivo de preservar e melhorar as águas, de modo a garantir a sua qualidade, principalmente no que toca a reduzir a contaminação com pesticidas (Amaro, 2004). No âmbito da DQA, foi definida uma lista de substâncias prioritárias, a ser revista periodicamente, para fins de controlo ambiental. A concentração máxima admissível das substâncias presentes nessa lista encontra-se estipulada na directiva 2008/105/CE, relativa às normas de qualidade ambiental, no domínio da política da água. Tais normas foram estabelecidas com base nos efeitos agudos e crónicos que a poluição química pode provocar no ambiente aquático, tanto a longo como a curto prazo, pelo que, no caso particular da concentração máxima admissível, o valor estabelecido tem por finalidade somente a protecção contra a exposição a curto prazo.

Classificação dos pesticidas

A classificação dos pesticidas está relacionada com a capacidade que estes compostos têm para interferir com sistemas vitais do organismo humano que, consoante a via de exposição e a duração da exposição, pode trazer danos à saúde humana (Amaro, 2005).

Os pesticidas podem ser classificados de várias formas, não só de acordo com a espécie-alvo a que se destina, mas também de acordo com o seu estado físico, finalidade de aplicação e natureza química (Carapeto, 2011).

De acordo com a espécie a atingir, os pesticidas podem fundamentalmente ser classificados como:

- 1) Insecticidas – actuam sobre os insectos;
- 2) Herbicidas - actuam sobre plantas;
- 3) Fungicidas – têm a função de eliminar fungos;
- 4) Acaricidas – têm a função de eliminar ácaros;
- 5) Moluscicidas – utilizados para combater caracóis, lesmas e outros moluscos;
- 6) Nematicidas – actuam sobre nemátodes;
- 7) Rodenticidas – actuam sobre ratos e outros roedores.

De acordo com a natureza química, os pesticidas podem ser classificados em:

- 1) Organoclorados – muito utilizados como insecticidas e herbicidas;
- 2) Organofosforados – vasta aplicação como insecticidas, acaricidas ou nematocidas;

- 3) Carbamatos - apresentam toxicidade aguda para os artrópodes;
- 4) Piretróides – versão sintética do insecticida natural piretro⁵.

Remetendo para a problemática da persistência, anteriormente mencionada, a classe dos organoclorados é a que apresenta uma persistência mais elevada. Devido à sua constituição, estes compostos também apresentam afinidade para os tecidos gordos, o que faz com que tenham tendência para se acumularem nos organismos que os absorvem. Acoplando estas duas características, resulta que esta classe se encontra bastante associada à contaminação das cadeias alimentares e à biomagnificação (Litmans et al., 2004).

Tendo em conta a sua aplicação, os pesticidas podem ser classificados em três grupos distintos:

1) Saúde Humana: Quando a espécie-alvo consiste num vector responsável pela transmissão de agentes patogénicos. Ao usar pesticidas com este fim previnem-se doenças tais como a malária, peste ou “morte negra”, febre-amarela, febre tifóide, entre outras.

2) Agricultura: Sector onde o uso de pesticidas é considerado indispensável. Pragas e doenças afectam várias culturas, causando perdas enormes. Por este mesmo motivo é que poucos são os que arriscam adoptar a agricultura biológica em grande escala.

3) Gestão florestal: Embora a utilização dos pesticidas nas florestas seja muito menor que na agricultura, também se coloca a necessidade de evitar pragas de insectos, que provocam desfoliação, e de controlar o crescimento de plantas infestantes. Aqui o bem essencial a preservar é a madeira extraída para fins comerciais.

Efeitos biológicos dos pesticidas: Perturbação endócrina, deformações sexuais e anomalias no sistema reprodutivo.

Os desreguladores endócrinos consistem em substâncias químicas sintéticas que possuem elevada semelhança com as hormonas naturais. Como tal, estas substâncias actuam ao nível do sistema nervoso central bloqueando mensagens, enviando falsas mensagens, inibindo a síntese de hormonas e acelerando tanto a excreção como a degradação das mesmas. Estas perturbações podem provocar lesões graves num organismo, tais como disfunções no sistema reprodutivo, imunitário, na tiróide, além de que podem originar vários tipos de cancro, defeitos congénitos e danos neurológicos. As classes de pesticidas mais associadas a estes efeitos consistem nos carbamatos e organofosfatos. As perturbações endócrinas encontram-se particularmente interligadas a uma devastação aguda durante os estágios de desenvolvimento dos organismos vivos. Mesmo os descendentes daqueles que foram afectados por tais perturbações podem vir a sofrer de problemas de saúde ao longo da

⁵ Piretro – insecticida natural obtido através da trituração das flores de algumas plantas pertencentes à família *Compositae*, género *Chrysanthemum*.

vida e anomalias no sistema reprodutivo, incluindo reduzida fertilidade, alterações no comportamento sexual, baixos níveis de imunidade e cancro (Litmans, et al., 2004).

Por exemplo, uma experiência feita em tritões vermelhos revelou que estes anfíbios ao serem expostos a variadas quantidades de endossulfano, um pesticida abundantemente utilizado na agricultura, perdiam a capacidade reprodutiva (Park, et al., 2001). Nesta experiência constatou-se que o pesticida provocava uma perturbação do desenvolvimento das glândulas que produzem a hormona responsável pelo acasalamento.

Outro estudo feito pela Academia Nacional de Ciências Americana revelou que os anfíbios são muito mais sensíveis aos pesticidas no seu habitat natural do que nos estudos feitos em laboratório (Reylea, et al., 2001). Neste estudo foi descoberto que o pesticida carbamil, mesmo em baixos níveis de contaminação, provoca uma elevada taxa de mortalidade com o aumento do tempo de exposição ao mesmo. Porém, no mesmo estudo revelou-se que esta taxa de mortalidade aumenta significativamente na presença de *stressantes* biológicos, tais como a existência de predadores. Como tal, esta experiência veio comprovar que os estudos científicos podem subestimar os impactos de muitos pesticidas na natureza.

A atrazina é um herbicida muito utilizado no controlo de ervas-daninhas. No entanto, um estudo feito na Universidade da Califórnia revelou que esta substância altera o desenvolvimento sexual das rãs a concentrações muito reduzidas, inclusivamente mais baixas do que as existentes na natureza. Neste estudo as rãs foram expostas a níveis muito reduzidos de atrazina, por forma a simular as concentrações existentes no seu habitat. Mesmo a estas “reduzidas” concentrações, as rãs do sexo masculino além de não se conseguirem formar totalmente, em alguns testes continham ovos, revelando hermafroditismo (Litmans, et al., 2004).



Fonte: Silent Spring Revisted, 2004.

FIGURA 3- Girinos com deformações causadas pelos pesticidas.

O impacto dos pesticidas nas rãs foi também analisado num estudo canadiano. Este estudo mostrou que quantidades ínfimas de DDT e de outros pesticidas provocavam danos irreversíveis no sistema imunitário das rãs (Gibertson, et al., 2002). Estas foram expostas a pequenas doses de DDT,

malatião e dieldrina e os investigadores constataram que eram necessárias vinte semanas num ambiente livre de pesticidas para que o sistema imunitário das rãs voltasse ao normal.

As hormonas da tiróide são essenciais para garantir um bom funcionamento cerebral. No entanto, os especialistas comprovaram que a exposição a químicos sintéticos no início do desenvolvimento interfere com esta hormona, resultando em anomalias no cérebro e no desenvolvimento comportamental (Colborn, et al., 1998).

2.3.2. FERTILIZANTES

Os fertilizantes consistem em substâncias que para além de fornecerem às plantas os nutrientes essenciais ao seu desenvolvimento, corrigem a fertilidade do solo. Tal como os pesticidas, estas substâncias já são utilizadas há muitos séculos, mas ao contrário destes, inicialmente eram utilizados sob a forma orgânica (estrume). A síntese de fertilizantes inorgânicos começou principalmente após a revolução industrial e a sua utilização contribuiu fortemente para o crescimento global da população, uma vez que cerca de metade da população mundial consegue obter alimento resultante do uso de fertilizantes azotados artificiais.

A primeira percepção das necessidades nutricionais das plantas surgiu no século XIX e foi introduzida pelo químico Justus von Liebig (1803-1887), quando este refutou a teoria do húmus anteriormente proposta por Aldrech D. Thaer. O primeiro afirmava que os fertilizantes orgânicos são irrelevantes e que o rendimento das culturas é proporcional aos minerais fornecidos através dos fertilizantes inorgânicos (Fröhlich, 2007).

O desenvolvimento dos factores que influenciam o crescimento das culturas foi lento até à Segunda Guerra Mundial. A partir daí os avanços tecnológicos impulsionados pela Guerra foram também aplicados na agricultura, uma vez que havia necessidade de reconstruir os países afectados e de combater a fome que se instalara na Europa (plano Marshal). A industrialização da agricultura após a Guerra, que veio a ser designada por “*Green Revolution*”, veio desta forma assegurar a existência de alimento em regiões onde persistia o seu racionamento e a fome⁷.

Alimentar a população mundial (em rápido crescimento) requer que os agricultores tenham mais e melhores colheitas. Por isso, no final do século XIX, os químicos foram ao encontro de formas económicas de converter o azoto atmosférico em compostos azotados que pudessem ser usados como fertilizantes agrícolas. Esta necessidade deve-se ao facto das plantas não conseguirem utilizar o azoto molecular directamente da atmosfera. Como tal, a fixação do azoto faz-se convertendo-o em compostos biologicamente utilizáveis, tais como iões nitrato (NO_3^-) e amoníaco (NH_3).

Em 1909, o químico Fritz Haber descobriu um processo de produção de amoníaco economicamente viável que veio revolucionar o desenvolvimento da indústria de fertilizantes. Com a ajuda do engenheiro químico Carl Bosh, o processo foi transposto para a escala industrial capaz de produzir milhares de toneladas de amoníaco por ano (Dantas et al., 2004, p. 11).

Actualmente a ocupação do solo é essencialmente constituída pela exploração agrícola. Durante o processo de modernização agrícola, as tecnologias tradicionais são substituídas por tecnologias industriais, produzidas fora da comunidade rural. Da mesma forma o conhecimento local é substituído pelo conhecimento científico, igualmente proveniente do exterior da comunidade rural. A introdução de tecnologias e conhecimentos externos não adaptados às condições ecológicas locais desencadeou a erosão da cultura camponesa, provocando degradação ambiental ao nível das explorações agrícolas. Por um lado, a industrialização agrícola provocou um aumento significativo da

produtividade agrícola, mas este sucesso acarreta consequências ambientais nefastas. Estas consequências encontram-se essencialmente relacionadas com a redução da biodiversidade, erosão dos solos e contaminação dos recursos hídricos. Como tal, a implementação de uma agricultura sustentável torna-se cada vez mais necessária como forma de solucionar tais problemas⁷.

Em Portugal, o consumo de fertilizantes tem vindo a diminuir desde o início da década de 90. Os fertilizantes azotados são os mais utilizados, chegando a atingir as 12 500 toneladas no ano de 2002. Nesse mesmo ano, Portugal foi dos países comunitários com menor consumo de fertilizantes por unidade de área agrícola (50 kg/ha), sendo este valor metade da média europeia (105 kg/ha). Mesmo com a diminuição acentuada do uso de fertilizantes na Europa nesta última década, segundo a Agência Europeia do Ambiente, o excesso de nutrientes em terrenos agrícolas continua a ser o principal causador da poluição das águas e da eutrofização dos recursos hídricos. Segundo esta mesma fonte, o decréscimo do uso destas substâncias deve-se, principalmente, ao declínio da rentabilidade da agricultura, à redução das oportunidades de mercado para os produtos agrícolas e à diminuição dos apoios estatais públicos, e não tanto à eficácia da implementação das políticas comunitárias como a Directiva 91/676/CEE do Conselho, de 12 de Dezembro de 1991, relativa à protecção das águas contra a poluição causada por nitratos de origem agrícola (APA ,2007).

Seguidamente serão abordadas , em maior detalhe, as consequências relacionadas com o uso de adubos químicos, por forma a justificar a necessidade crescente de uma agricultura sustentável.

Consequências da adubação sintética

A aplicação de fertilizantes sintéticos veio remediar a redução da disponibilidade de nutrientes nos solos agrícolas, quer devido à redução de matéria orgânica após colheita, quer devido à erosão do solo. Os adubos de origem animal foram substituídos gradualmente, à medida que as explorações se foram especializando, tanto em produção vegetal como em pecuária.

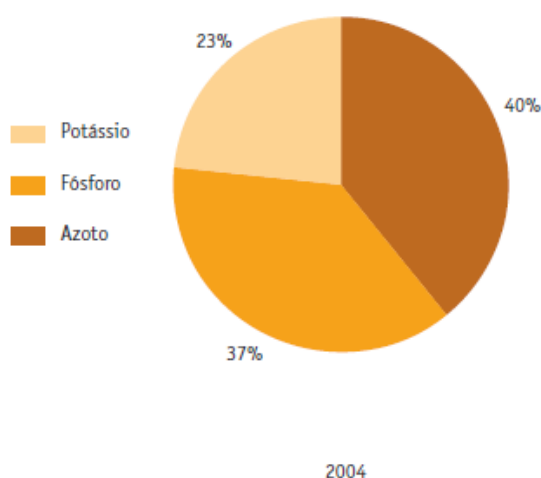
A constituição dos adubos químicos consiste maioritariamente em três macronutrientes: Azoto (N), Fósforo (P) e Potássio (P). Quando a adubação é excessiva e ultrapassa a capacidade de absorção das plantas, a porção excedente pode alterar a comunidade biótica do solo e ser lixiviada para cursos de água subterrâneos (freáticos) ou superficiais. O Fósforo presente nos adubos normalmente é fornecido às plantas sob a forma de fosfatos e estes são relativamente imóveis no solo, ao passo que o azoto é lixiviado facilmente pela água da chuva e da rega, podendo causar eutrofização. Este fenómeno consiste no crescimento excessivo de algas e outros microrganismos aquáticos, devido ao excesso de nutrientes.

Outro inconveniente dos fertilizantes solúveis baseia-se na alteração que provocam no equilíbrio osmótico entre a raiz das plantas e a solução do solo, originando uma modificação da proporção

relativa de nutrientes disponíveis para o crescimento das plantas, tornando-o deficiente (crescimento rápido em altura, tornando os colmos demasiado frágeis para suportar o peso da espiga).

Quando os fertilizantes em excesso se acumulam nas plantas, os alimentos acabam também por ser contaminados, o que pode levar a alguns problemas de saúde, nomeadamente alguns tipos de cancro⁷.

Todos estes inconvenientes reflectem as consequências da prática agrícola moderna, uma agricultura mecanizada, com a utilização cada vez maior de adubos químicos, que vem trazer o conceito de poluição difusa, a de mais difícil controlo, tratando-se de um tipo de poluição generalizado e de difícil localização, que tem levado nas últimas décadas a um incremento sucessivo e gradual dos níveis de nitratos nas águas subterrâneas, uma das maiores preocupações actuais das entidades gestoras de água e das entidades de saúde a nível mundial. Portugal, embora seja um país com um consumo de fertilizantes inorgânicos mais baixo que o da média europeia, possui grande parte deste assente nos de composição azotada (ver figura 4), havendo especial dedicação, por parte das entidades portuguesas, na monitorização dos nitratos nas águas⁶.



Fonte: APA, 2007

FIGURA 4- Consumo aparente de diferentes tipos de fertilizantes inorgânicos azotados, fosfatados e potássicos na agricultura.

⁶ Informação disponível em www.alentejolitoral.pt

Agricultura sustentável

A agricultura sustentável tem como principal objectivo minimizar as consequências trazidas pela agricultura industrializada, que já foram mencionadas anteriormente. Esta tem como estratégia otimizar a utilização de meios disponíveis nos ecossistemas para os processos produtivos. Como tal, pretende satisfazer as necessidades humanas de alimento actuais recorrendo o mínimo possível aos agroquímicos. Isto consegue-se adaptando as culturas ao clima e ao solo e beneficiando de sinergias entre os seres vivos que compõem o sistema agrícola. Deste modo pode-se reduzir o uso de aditivos externos, economizando energia e afectando os ciclos biogeoquímicos minimamente.

Existem várias vertentes da agricultura sustentável, tais como a agricultura biológica, agricultura biodinâmica, permacultura e agricultura natural. A agricultura biológica foi fundada por Hans Müller e considera que a saúde das plantas e dos alimentos só é conseguida com idêntica saúde dos solos. Por isso não usa produtos de síntese química nas explorações, sugerindo que a base da fertilização dos solos deva ser orgânica. Como tal, muitos afirmam que esta é limitativa, preferindo apoiar outras correntes de agricultura sustentável. Uma destas pode ser a agricultura biodinâmica, fundada por Rudolf Steiner na década de 20, que encara a propriedade agrícola como um organismo vivo. Para tal, preconizava uma reciclagem perfeita de nutrientes, através do uso de preparações feitas à base de plantas, excrementos e minerais.

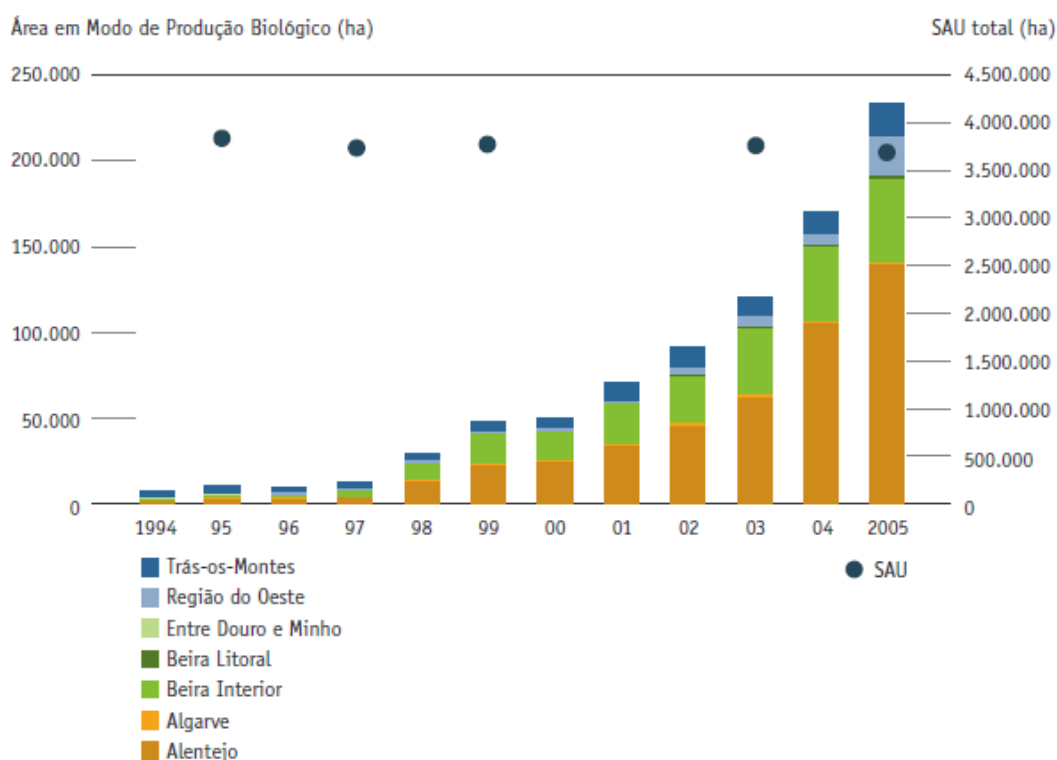
A permacultura refere-se a um tipo de agricultura onde os sistemas agrícolas se “perpetuam” devido à sua estabilidade ecológica, com intervenção humana reduzida. O termo permacultura foi introduzido por Bill Mollison e significa “agricultura permanente”, consistindo numa estratégia de planeamento de produção, aproveitando as condições e os recursos naturais locais da melhor maneira possível.

A agricultura natural resultou de muitos anos de experiências realizadas pelo microbiologista japonês Masanobu Fukuoka. Este tipo de agricultura centra-se na redução do controlo e manipulação do sistema agrícola para um mínimo necessário de colheitas, ou seja, deixa “trabalhar” a natureza. Isto é conseguido através da rotação de culturas (por exemplo, alternando entre leguminosas e gramíneas), uso de adubos orgânicos e colocação de cobertura morta sobre o solo. Para o controlo de pragas não se aplicam pesticidas, muito pelo contrário, tenta-se manter as características naturais do ambiente aplicando somente “inimigos” naturais ou produtos naturais não poluentes (Fröhlich, 2007).

A primeira associação de agricultura biológica em Portugal foi a AGROBIO, fundada em 1985, com o intuito de fornecer apoio técnico aos agricultores em “modo de produção biológico”. No entanto, os agricultores nesta situação têm que pagar a uma empresa certificadora e documentar vários aspectos da sua produção a serem inspeccionados, o que acarreta gastos extra para o produtor.

Por outro lado, a transição de agricultura convencional para biológica acarreta riscos. Estes encontram-se relacionados com a necessidade de investimento em infra-estruturas, perda das

culturas por ataque de pragas e diminuição da produtividade agrícola. No entanto, à medida que o solo vai recuperando, a produtividade aumenta novamente. Em Portugal foram feitas comparações entre a produção convencional da batata e a sua produção biológica, tendo-se constatado que as produções biológicas de há vários anos obtiveram melhores resultados do que as convencionais⁷. Como tal, este estudo veio comprovar que a agricultura biológica, apesar dos riscos inerentes à mudança, consiste numa alternativa viável. Em Portugal continental, a superfície ocupada por agricultura biológica tem aumentado assinalavelmente, passando de 2 799 para 233 458 hectares desde 1994 até 2005. No entanto, comparativamente a outros países europeus, Portugal ainda revela valores relativamente baixos (ver figura 5) (APA ,2007).



Fonte: APA, 2007

FIGURA 5- Área de agricultura biológica, por região agrícola, em Portugal continental e superfície agrícola utilizada (sau).

Mesmo que não se opte por este tipo de agricultura, actualmente já existe um “meio-termo” entre sustentável e convencional. Trata-se de uma agricultura de protecção integrada, onde o uso de agroquímicos é reduzido e adaptado às necessidades das plantas cultivadas, reduzindo assim o excesso de químicos armazenados nas plantas e lixiviados para a água (Amaro,2004). A área sujeita ao modo de produção integrada, apesar de ainda ser pouco significativa, tem vindo a aumentar, atingindo cerca de 40 000 hectares em 2005 (APA ,2007).

⁷ Informação disponível em www.quercus.pt

3. OBJECTIVOS

O presente trabalho teve como objectivo principal calcular o componente de água cinzenta da Pegada Hídrica de uma cultura em crescimento, com base na metodologia proposta pela WFN. No âmbito do primeiro projecto-piloto nesta área em Portugal pretendeu-se igualmente contribuir para a melhoria da metodologia proposta por aquela organização, a partir das dificuldades encontradas durante o estudo, nomeadamente aquelas que dizem respeito aos pressupostos adoptados.

Para esse efeito utilizou-se como caso de estudo uma cultura de tomate, tendo o projecto sido desenvolvido em colaboração com uma organização de produtores hortofrutícolas, a qual facultou grande parte dos dados necessários a este estudo.

Foi também objectivo deste estudo o contributo para a avaliação da sustentabilidade da actividade agrícola na bacia hidrográfica do Tejo, através do cálculo do nível de poluição hídrico (WPL), como proposto pela WFN.

Tendo este trabalho sido realizado num contexto ligado à problemática do uso sustentável dos recursos hídricos, um último objectivo foi a aplicação do indicador nas estratégias de sustentabilidade do sector agrícola português, particularmente no que toca ao uso de agroquímicos.

4. PEGADA HÍDRICA: CONCEITO

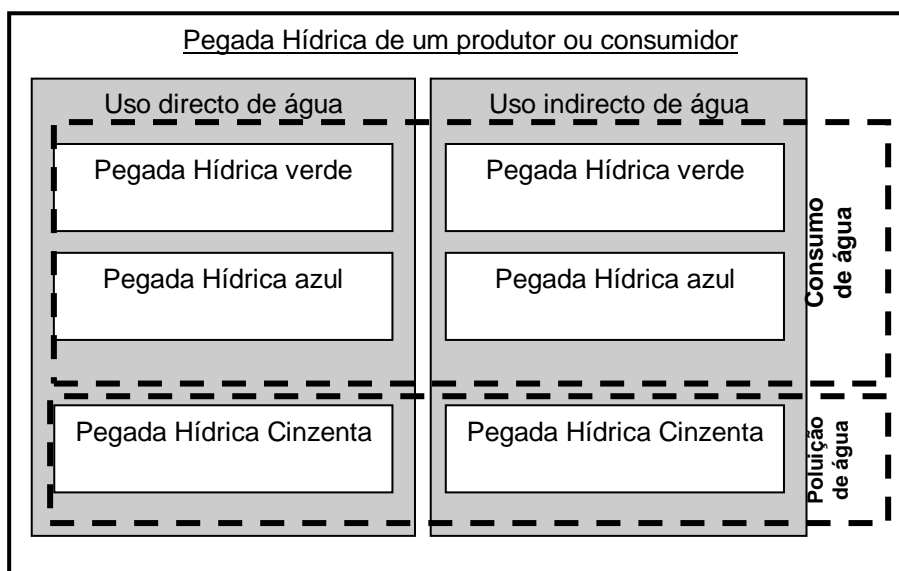
O conceito de Pegada Hídrica foi inventado por Hoekstra, em 2002 (Hoekstra, 2003) com o intuito de medir o uso da água ao longo de uma cadeia de abastecimento. Como tal, a Pegada Hídrica consiste num indicador do uso da água potável que entra em consideração não só com a sua utilização directa por um produtor ou consumidor, mas também com a sua utilização indirecta (ver figura 6). Portanto, se se quiser avaliar a Pegada Hídrica de um determinado produto, tem-se que considerar o volume de água usado para o produzir, medido ao longo de toda a cadeia de abastecimento. Por exemplo, segundo a Quercus, para servir uma chávena de café são necessários 140 litros de água, ao passo que para produzir uma t-shirt de algodão necessita-se de 2000 litros de água.

Esta trata-se de um indicador multi-dimensional, uma vez que revela volumes de consumo de água por fonte de água e volumes poluídos por fonte de poluição, além de que todos os componentes da pegada são especificados geograficamente e temporalmente.

A Pegada Hídrica azul é referente ao consumo de água azul (águas superficiais e subterrâneas) ao longo de uma cadeia de abastecimento. O consumo de água azul diz respeito às perdas de água subterrânea ou superficial disponível nas bacias hidrográficas, sendo que estas perdas ocorrem quando a água evapora, migra para outra bacia hidrográfica ou é incorporada num produto.

A Pegada Hídrica verde é referente ao consumo de água verde (água da chuva) ao longo de toda a cadeia de abastecimento.

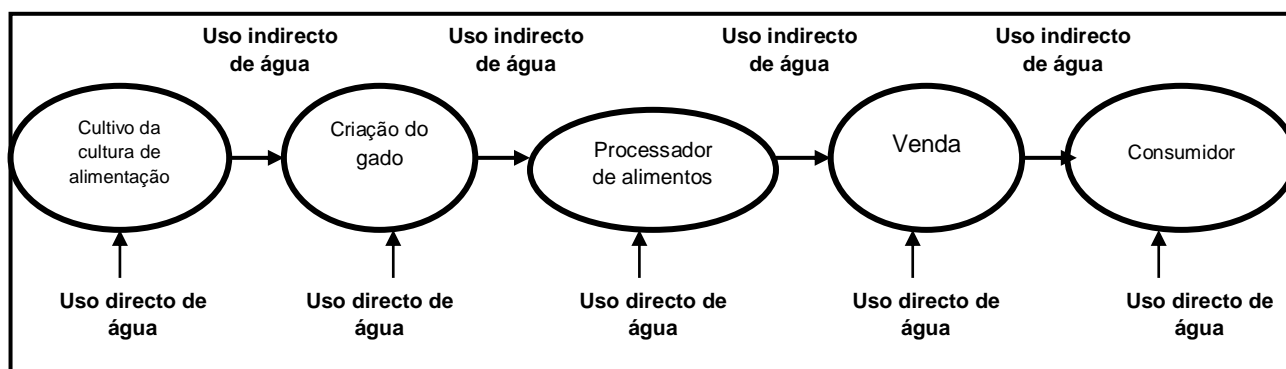
A Pegada Hídrica cinzenta é referente à poluição e define-se como o volume de água necessário para incorporar uma carga de poluentes, tendo em conta a sua concentração na natureza e os parâmetros de qualidade ambientais.



Fonte: Adaptado do Manual da Pegada Hídrica 2010.

FIGURA 6- Representação esquemática dos componentes da Pegada Hídrica.

A título de exemplo, considerar-se-á a Pegada Hídrica de um produto de origem animal. Este produto tem como destino final um consumidor, ao passo que o início da cadeia se baseia no cultivo do alimento para os animais. Desde a primeira etapa até à última, passando pela venda do produto, existe água usada directa e indirectamente. Um uso de água é considerado de forma directa quando é aplicado numa etapa definida do processo de produção (por exemplo na alimentação dos animais), ao passo que é considerada de forma indirecta o seu uso inerente entre etapas da cadeia de fornecimento (por exemplo a água envolvida no transporte do produto). A figura 7 ilustra o exemplo em questão.



Fonte: Adaptado do Manual da Pegada Hídrica 2010.

FIGURA 7- O uso directo e indirecto da água em cada etapa da cadeia de abastecimento de um produto animal.

De um modo geral, a Pegada Hídrica oferece uma boa perspectiva de como um consumidor ou produtor lida com o uso da água, na medida em que se trata de uma medida volumétrica do consumo e poluição da mesma. O impacte ambiental que o consumo e poluição da água podem trazer

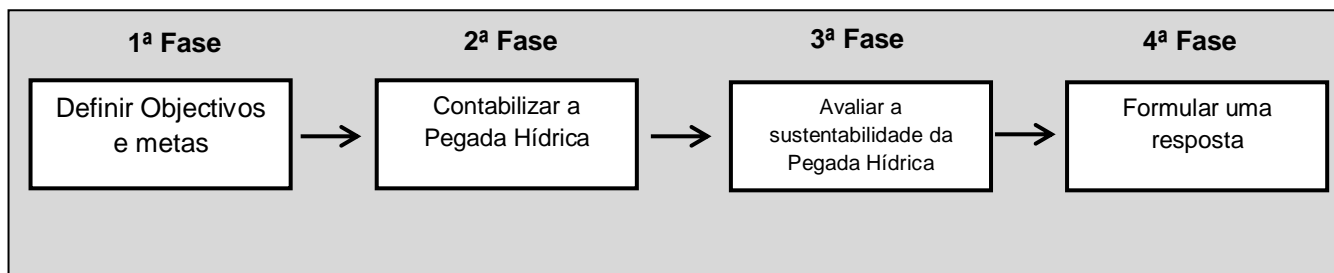
depende fortemente da vulnerabilidade do sistema de água local e do número de pessoas que usufruem do mesmo. Porém, apenas podemos inferir sobre o impacto ambiental resultante da gestão dos recursos hídricos após efectuar a avaliação da Pegada Hídrica. Esta avaliação pode ser efectuada para um largo espectro de actividades, por forma a:

- (i) Quantificar e localizar a Pegada Hídrica de um processo, produto, produtor ou consumidor ou quantificar no espaço e no tempo a Pegada Hídrica de uma área geograficamente bem definida;
- (ii) Avaliar a sustentabilidade ambiental, social e económica da Pegada Hídrica calculada;
- (iii) Formular uma estratégia em jeito de resposta.

De um modo geral, a avaliação da Pegada Hídrica tem como objectivo principal analisar de que forma a actividade humana ou produtos específicos estão relacionados com questões tais como a escassez e poluição da água, a fim de tornar as actividades ou os produtos mais sustentáveis numa perspectiva hídrica.

A forma como será feita a avaliação da Pegada Hídrica depende fortemente do foco de interesse. Este pode consistir na pegada de apenas uma etapa do processo pertencente à cadeia de abastecimento, ou então pode consistir somente na pegada do produto final, entre outros. De qualquer forma, a avaliação da Pegada Hídrica trata-se de uma ferramenta analítica que ajuda a perceber como as actividades e os produtos se encontram relacionados com a escassez e poluição de água e o que pode ser feito para garantir que estes não contribuam para um uso de água potável insustentável. Enquanto ferramenta, a avaliação da Pegada Hídrica fornece-nos uma perspectiva, não nos diz o que tem que ser feito, mas ajuda-nos a perceber o que se pode fazer. Uma avaliação completa da Pegada Hídrica baseia-se em quatro fases distintas (ver figura 8):

- Definir objectivos e metas;
- Contabilizar a Pegada Hídrica;
- Avaliar a sustentabilidade da Pegada Hídrica;
- Formular uma resposta de acordo com o valor de Pegada Hídrica obtida.



Fonte: Adaptado do Manual da Pegada Hídrica 2010.

FIGURA 8- As quatro fases da avaliação da Pegada Hídrica.

Numa primeira fase deve-se definir qual o foco de interesse, ou seja, definir o que se pretende com o cálculo da Pegada Hídrica. Por exemplo, se se pretende apenas efectuar uma sensibilização, basta realizar o cálculo com base em estimativas nacionais e globais. No entanto, se se pretende formular uma estratégia de redução da Pegada Hídrica, o grau de detalhe espacial e temporal terá que ser maior. É também nesta fase que se define se se vai estudar apenas uma etapa da cadeia de abastecimento, se o produto final, se apenas o uso de água directo ou indirecto, etc.

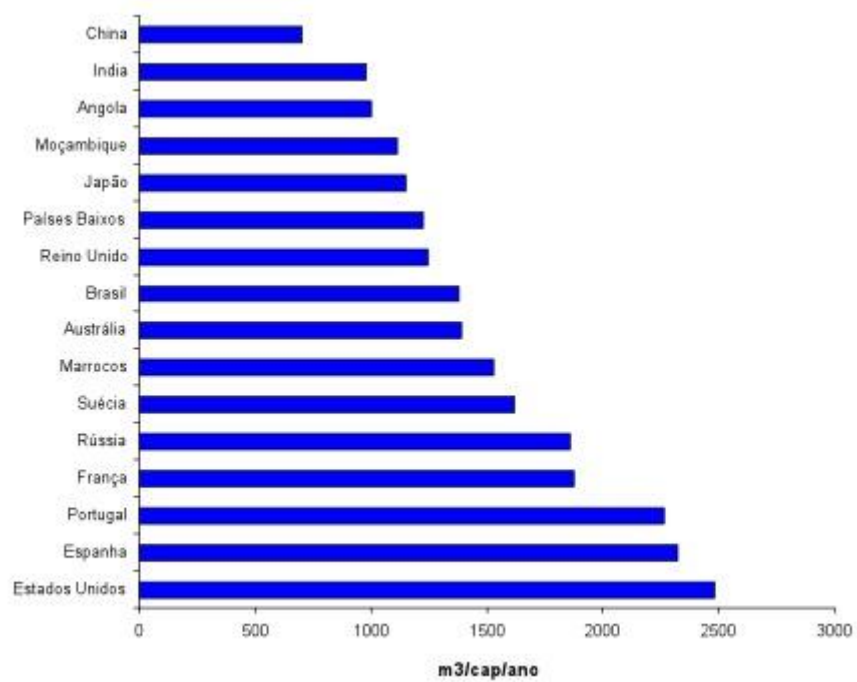
A fase de contabilização da Pegada Hídrica é a fase em que se recolhem dados e os cálculos são realizados. Dependendo do foco de interesse anteriormente definido, a maneira como se efectuam os cálculos difere. Por exemplo, se se pretende calcular a Pegada Hídrica de um produto utilizam-se fórmulas de cálculo diferentes da Pegada Hídrica de um negócio ou empresa.

Após a fase de contabilização segue-se a avaliação de sustentabilidade, onde a Pegada Hídrica é avaliada numa perspectiva ambiental, económica e social.

Na fase final são formuladas respostas, estratégias e políticas, normalmente com o fim de reduzir o valor obtido de Pegada Hídrica na 2ª fase.

Na prática, a avaliação separada em quatro fases não precisa de ser seguida à risca, consistindo apenas numa orientação, uma vez que se pode parar o estudo na fase de contabilização, sem formular respostas ou avaliar a sustentabilidade. Tudo depende do interesse de quem pretende calcular a Pegada Hídrica, ou seja, do grau de detalhe definido na primeira fase da avaliação (Hoekstra, et al., 2010, p.14).

A *Water Footprint Network* (WFN) consiste na entidade responsável pela criação deste indicador. Esta organização tem como missão principal promover um uso da água potável sustentável, equitativo e eficaz a nível mundial. Para tal, implementou o conceito de Pegada Hídrica e actualmente tenta sensibilizar a comunidade, órgãos governamentais e empresas para o seu impacte nos sistemas hídricos, ao consumirem e produzirem bens e serviços (WFN ,2008). Segundo esta organização, Portugal situa-se entre os países com maior Pegada Hídrica, sendo que os Estados unidos são o país com maior pegada a nível mundial (ver figura 9). Os países muito populados, tais como a China e a Índia, são os que possuem menores valores de Pegada Hídrica. De um modo geral, o que se verifica é que quanto maior for o nível desenvolvimento de um país, maior o consumo de produtos, o que leva a uma consequente maior Pegada Hídrica.



Fonte: Water Footprint Network.

FIGURA 9- Pegada Hídrica de alguns países.

5. PEGADA HÍDRICA CINZENTA

5.1. METODOLOGIA

A metodologia de cálculo da Pegada Hídrica seguida neste estudo é proposta pela *Water Footprint Network* (WFN) e resulta de um esforço de uniformização desenvolvido pelos primeiros investigadores nesta área, de modo a facilitar a sua aplicação e a comparação dos resultados. Uma descrição completa da metodologia pode encontrar-se no manual da Pegada Hídrica (Hoekstra et al. 2010) no qual se introduzem algumas modificações em relação à primeira versão inicialmente apresentada pela organização (Hoekstra et al. 2009). Nesta dissertação descrever-se-á apenas a parte relativa à água cinzenta, embora a pegada seja definida pela soma de mais dois componentes, as águas verde e azul.

Esta pegada consiste num indicador do grau de poluição da água potável. Num processo de produção, esta é considerada o volume de água potável capaz de incorporar uma determinada carga de poluentes (m^3), de acordo com os parâmetros de qualidade ambientais. Esta pode ser calculada dividindo a carga de poluentes (L , massa/tempo) pela diferença entre a sua concentração máxima permitida por lei (c_{\max}) e a concentração que já existe naturalmente no corpo de água que o vai receber (c_{nat}).

EQUAÇÃO 1- Pegada Hídrica cinzenta

$$WF_{\text{cinzenta}} = \frac{L}{c_{\max} - c_{\text{nat}}}$$

Quando os produtos químicos são lançados directamente no solo (p.e. fertilizantes e pesticidas) o que é contabilizado consiste na fracção que atinge a água subterrânea por lixiviação ou que é escoada para uma água superficial.

A capacidade de assimilação do poluente pela água que o vai receber depende da diferença entre a concentração máxima permitida e a concentração natural da substância.

A carga crítica (L_c , massa/tempo) é a carga de poluentes que vai consumir totalmente a capacidade de assimilação da água que os vai receber e pode ser calculada multiplicando o escoamento da água (R , volume/tempo) pela diferença entre a concentração de poluente máxima aceitável e a que existe do mesmo na natureza (ver equação 2).

EQUAÇÃO 2- Carga crítica de poluentes

$$L_c = R \times (c_{\max} - c_{\text{nat}})$$

No caso em que os poluentes fazem parte de um efluente que foi descarregado numa massa de água, tal como ocorre na descarga de águas residuais, a carga de poluente pode ser calculada como

sendo a diferença entre o volume de efluente ($Effl$, volume/tempo) multiplicado pela concentração de poluente no efluente (c_{eff} , massa/volume) e o volume de água de captado ($Abstr$, volume/tempo) multiplicado pela concentração actual de poluente na massa de água que o recebe (c_{act} , massa/volume). Neste último caso, a Pegada Hídrica cinzenta pode ser calculada segundo a equação 3 (Hoekstra, et al., 2010, pp.37 -38).

EQUAÇÃO 3- Pegada Hídrica cinzenta quando o poluente faz parte de um efluente.

$$WF_{cinzenta} = \frac{L}{c_{max} - c_{nat}} = \frac{Effl \times c_{eff} - Abstr \times c_{act}}{c_{max} - c_{nat}}$$

Como tal, a carga de poluente L é então definida como a carga que vem à superfície da carga que já se encontrava contida no corpo de água receptor, antes da interferência da actividade considerada. Na maior parte dos casos, a quantidade de químicos descarregados num corpo de água é sempre igual ou superior à quantidade que já lá existe, o que resulta numa carga positiva. Em casos excepcionais (seja quando $c_{eff} < c_{act}$ ou quando $Effl < Abstr$), a carga de poluente calculada pode resultar num número negativo, o que no cálculo da Pegada Hídrica deverá ser negligenciado.

Quando a descarga de poluente é feita num corpo de água onde não existem captações ($Abstr = 0$), a equação 3 pode ser simplificada na equação 4.

EQUAÇÃO 4- Pegada Hídrica quando o corpo de água receptor não tem captações.

$$WF_{cinzenta} = \frac{L}{c_{max} - c_{nat}} = \frac{Effl \times (c_{eff} - c_{act})}{c_{max} - c_{nat}}$$

Interpretação da Pegada Hídrica cinzenta para diferentes casos:

- Quando $c_{eff} = c_{act}$ a Pegada Hídrica associada é nula. Isto acontece uma vez que a concentração da água que vai receber o efluente poluente mantém-se inalterada.
- Quando $c_{eff} = c_{max}$ a Pegada Hídrica cinzenta é igual ao volume do efluente. Pode ser questionado porque é que a pegada é maior que zero quando a concentração do efluente se iguala à concentração máxima permitida. A resposta consiste em admitir que a capacidade de assimilação dos poluentes tenha sido consumida e assim a concentração do poluente na natureza aproxima-se cada vez mais de c_{max} .

- Quando $c_{\text{eff}} < c_{\text{act}}$ a Pegada Hídrica cinzenta calculada vai ser negativa. Isto é explicado tendo em conta que o efluente, neste caso, encontra-se mais limpo que a água que o vai receber. Nestas condições é aconselhável colocar a pegada igual a zero. Contudo, se outras actividades proporcionaram a subida de c_{nat} , a “limpeza” vem contribuir para o reajuste da qualidade ambiental do corpo de água receptor na direcção das condições naturais.
- Quando $c_{\text{máx}}=0$, significa que o poluente não é, de todo, tolerado pela natureza e um efluente com uma concentração superior a zero vai originar uma pegada infinita.
- Quando $c_{\text{máx}}=c_{\text{nat}}$ vai ocorrer uma pegada também infinita, mas a probabilidade de este caso acontecer é muito menor, uma vez que não faz sentido os parâmetros padrão do poluente serem iguais à sua concentração na natureza.

5.2. PEGADA HÍDRICA DE UMA CULTURA EM CRESCIMENTO

Como esta dissertação consiste no cálculo da Pegada Hídrica cinzenta de um produto proveniente de uma cultura agrícola, as fórmulas do manual da Pegada Hídrica (2010) que o permitem executar são as referentes a culturas em crescimento. Por se tratar precisamente de um produto agrícola, o valor final da sua pegada hídrica deverá reflectir o volume total de água necessário consumir por cada tonelada de produto produzida. Sendo assim, relativamente às expressões gerais que permitem calcular cada componente do indicador, entra em consideração mais um dado de cálculo, que se trata do rendimento da cultura agrícola (Y , ton/ha).

EQUAÇÃO 5- Pegada Hídrica de uma cultura em crescimento

$$WF_{processo} = WF_{verde} + WF_{azul} + WF_{cinzenta}$$

Desta forma, tem-se que o componente verde da Pegada Hídrica (WF_{verde} , m³/ton) é calculado dividindo o uso de água verde na cultura (CWU_{verde} , m³/ha) pelo rendimento da mesma (Y , ton/ha). O componente de água azul é calculado de forma semelhante.

EQUAÇÃO 6- Pegada Hídrica verde de uma cultura em crescimento

$$WF_{verde} = \frac{CWU_{verde}}{Y}$$

EQUAÇÃO 7- Pegada Hídrica azul de uma cultura em crescimento

$$WF_{azul} = \frac{CWU_{azul}}{Y}$$

O uso da água verde e azul pode ser calculado com o auxílio de um software recomendado pelo manual da Pegada Hídrica (Hoekstra, et al., 2010). No entanto, nesta dissertação não há pretensão de aprofundar estes dois componentes, uma vez que são fortemente distintos do componente de água cinzenta que constitui o foco do estudo.

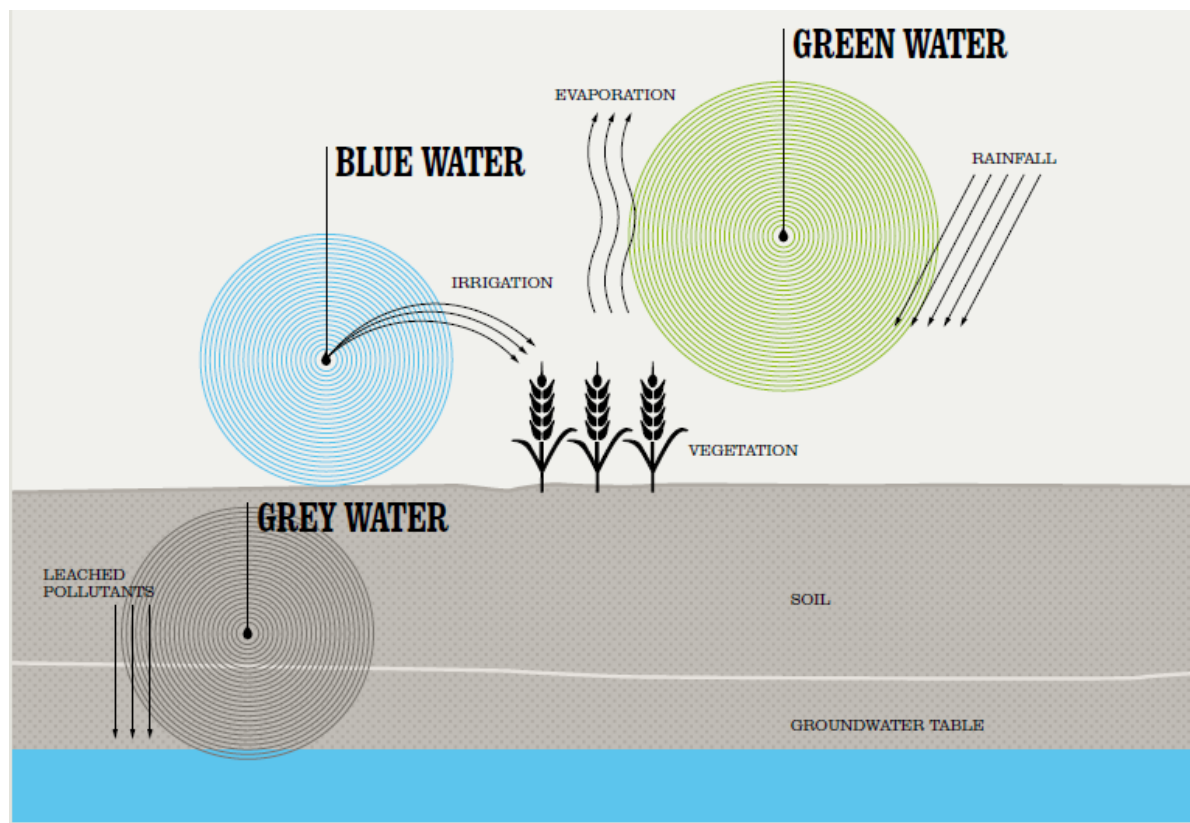
O componente de água cinzenta da Pegada Hídrica numa cultura em crescimento (m³/ton) é calculado como sendo o quociente entre a taxa de aplicação de químicos por hectare (AR , kg/ha) a multiplicar pela fracção de lixiviação (α), dividida pela diferença entre a concentração máxima permitida de poluente (c_{max} , kg/m³) e a concentração do poluente na natureza (c_{nat} , kg/m³) e o rendimento da cultura (Y , ton/ha).

EQUAÇÃO 8- Pegada Hídrica cinzenta de uma cultura em crescimento

$$WF_{cinzenta} = \frac{(\alpha \times AR) / (c_{max} - c_{nat})}{Y}$$

Os poluentes a considerar numa cultura em crescimento geralmente consistem em fertilizantes e pesticidas. Sabendo que apenas uma fracção destes pertencem ao fluxo de resíduos que contamina as águas, apenas será preciso contabilizar o poluente mais crítico, isto é, o químico que precisa de maior quantidade de água (o mais tóxico) (Hoekstra et al., 2010, pp. 41 - 42).

Por se tratar de um indicador resultante da soma de vários indicadores individuais, a Pegada Hídrica de uma cultura em crescimento é classificada como um indicador agregado (Simões, et al., 2004).



Fonte: SABMiller & WWF 2009

FIGURA 10- Os três componentes da Pegada Hídrica de uma cultura em crescimento.

5.3. FUNDAMENTOS DO CÁLCULO DA PEGADA HÍDRICA CINZENTA

O objectivo desta dissertação baseia-se fundamentalmente na aplicação directa da equação 8, por forma a obter um volume de água por tonelada de produto. Esta equação, bem como os dados por ela solicitados, resultam de uma construção teórica da qual se abordará neste capítulo alguns aspectos de forma sucinta.

Considerando que, para a maior parte das zonas, não existem estudos locais, e que a realização desses estudos implica custos consideráveis, os estudos de Pegada Hídrica recorrem habitualmente a estratégias de investigação indirectas. A pegada cinzenta, enquanto componente da Pegada Hídrica, não foge a esta realidade, o que faz com que os dados necessários para o seu cálculo sejam também indirectamente obtidos, seja por estimativa, ou através da aplicação de modelos.

De acordo com Hoekstra *et al.* (2010) a concentração natural de agroquímicos num corpo de água receptor (C_{nat}) é igual à concentração que ocorreria caso não houvesse intervenção antropogénica nas bacias hidrográficas. Um motivo pelo qual se usa no cálculo a concentração natural em vez da concentração actual é o facto da Pegada Hídrica cinzenta ser um indicador da capacidade de assimilação apropriada. A capacidade de assimilação num corpo de água receptor depende da diferença entre a concentração máxima permitida e a concentração natural da substância. Caso se tomasse em consideração a concentração actual estaria-se a definir a capacidade de assimilação residual, o que não seria viável, uma vez que este parâmetro está em constante mudança como consequência do nível de poluição num determinado período. Além disso, caso se utilizasse a concentração actual do corpo de água receptor, um corpo de água que já se encontra altamente poluído iria conter uma pegada cinzenta muito pequena comparativamente a um outro corpo de água que não se encontre tão poluído, o que não reflecte adequadamente o impacte do processo a ser avaliado (WFN 2010, pp. 25 - 29).

A concentração máxima consiste num parâmetro ambiental de qualidade das águas para o corpo de água fresca receptor. Este parâmetro estabelece um limite máximo permitido de substâncias em vários corpos de água, tais como rios, lagos, águas subterrâneas e superficiais. Consoante o tipo de corpo de água receptor, o limite máximo varia. Da mesma forma se verifica uma variação deste valor entre países. Por exemplo, segundo a US-EPA, a concentração máxima permitida de azoto em águas para consumo humano é cerca de 10 mg/L nos Estados Unidos da América, ao passo que em Portugal, o valor estabelecido pelo Decreto-Lei nº236/98 para os nitratos (50 mg/L), faz com que a concentração máxima de azoto permitida suba para os 11,3 mg/L. Nesse mesmo documento, constata-se que os limites máximos não variam desde que se trate de um corpo de água destinado à produção de água para consumo humano, podendo este consistir tanto numa água superficial como subterrânea.

As normas de qualidade das águas presentes nas Directivas Europeias são estabelecidas tendo em conta o princípio da precaução, havendo para tal uma prévia avaliação científica de risco dos compostos considerados perigosos e que constam habitualmente nas águas. O controlo da quantidade é um elemento acessório de garantia da boa qualidade das águas e portanto são também adoptadas medidas quantitativas que contribuem para o objectivo de garantia de uma boa qualidade (CE, 2000). No entanto, estudos recentes revelam que, para avaliar o impacto da contaminação química nos ecossistemas aquáticos, os cientistas não se devem restringir à medição das concentrações de contaminantes nas águas, mas devem igualmente analisar até que ponto estes podem interromper processos biológicos a nível celular em animais, em plantas e até ao nível dos ecossistemas. Considerando estas complexas inter-relações acredita-se que se poderá contribuir para a melhoria da qualidade da água, em conformidade com a Directiva- Quadro da Água (Garcia Alonso, et al., 2011).

No cálculo da Pegada Hídrica cinzenta, há também que ter em conta que a concentração natural de uma determinada substância difere consoante o corpo de água receptor. Por exemplo, de acordo com o sistema nacional de informação de recursos hídricos (SNIRH), a concentração natural de nitratos na bacia hidrográfica do Tejo possui um valor diferente da concentração natural do mesmo composto na Bacia hidrográfica do Douro. O mesmo não acontece para a concentração máxima, uma vez que os limites se encontram estabelecidos a nível Nacional, não havendo diferenças entre os valores atribuídos para dois corpos de água receptores posicionados em zonas diferentes do país.

Embora o valor de concentração máxima se encontre definido pela legislação em vigor no país, o valor de concentração natural nem sempre se encontra disponível para todas as regiões, pelo que se terá que estimar um valor ou assumir que é nulo, sempre que não existam dados para este parâmetro (WFN 2010, p. 28).

Quanto à fracção de lixiviação (α) há que ter vários pontos em consideração, uma vez que o percurso do agroquímico ao longo do solo é um processo complexo. Os solos são meios porosos e permeáveis que podem consistir em fontes de contaminantes para os corpos de água receptores. O uso de fertilizantes e pesticidas na agricultura faz com que a qualidade da água que executa a lixiviação na zona das raízes ou daquela que escoar agroquímicos seja menor do que a qualidade das águas superficiais ou subterrâneas que recebem tais emissões do solo.

A concentração de poluente que parte do solo, c_{solo} , será certamente maior que a concentração natural c_{nat} e concentração máxima permitida $c_{máx}$ no corpo de água receptor. Contudo, durante a lixiviação ao longo do solo haverá atenuação de poluente. A esta atenuação atribui-se a variável R que representa a diminuição de c_{solo} por processos de permuta, assimilação ou degradação. Consequentemente isto leva à diminuição da carga de poluente que vem do solo, L_{solo} . Sendo assim, os corpos de água receptores sofrem uma carga de poluente de $L=R \times L_{solo}$, que é menor que as emissões provenientes do solo devido à atenuação e assimilação sofrida no percurso entre a

superfície do mesmo e o corpo de água receptor. Há que frisar que atenuação e fracção de lixiviação não se tratam do mesmo parâmetro. Ao passo que R refere-se à atenuação entre as perdas do solo e um ponto específico no corpo de água, α refere-se à diferença entre os químicos aplicados e os químicos descarregados na água (WFN 2010, pp. 36 – 39).

Segundo o trabalho de Chapagain *et al.* (2006) sobre a Pegada Hídrica do algodão, as únicas emissões contabilizadas para efeitos de cálculo são as do azoto, “ignorando” desta forma a aplicação de pesticidas ou de fertilizantes não azotados. Mais recentemente Drabowsky *et al.* (2009) já entra em consideração no cálculo não só com as emissões de azoto, mas também de fosfatos, endossulfano, metil-azinfos e clorpirifos, utilizados na produção de milho, trigo, citrinos e algodão na África do Sul. Com este trabalho o autor concluiu que o volume de água requerido para diluir todos os agroquímicos é maior que o volume de água necessário para irrigação. No entanto, para possibilitar a execução dos cálculos, foram assumidas que as emissões do solo consistiam em 10%, 2% e 1% do azoto, fósforo e substâncias activas dos pesticidas aplicados, respectivamente. Portanto, a metodologia actual assume que apenas uma fracção do contaminante aplicado é emitido desde o solo até ao corpo de água que o acolhe. Contudo, SAB-Miller e WWF (2009) notaram que tal metodologia requer algumas melhorias, primeiro porque não tem em consideração a capacidade do ambiente em reter alguma poluição e segundo porque é extremamente difícil de encontrar dados quantitativos para as emissões do solo, especialmente em produção de culturas.

Segundo um estudo exploratório da pegada cinzenta, tais melhorias podem ser conseguidas ao aplicar uma metodologia de três níveis, uma abordagem semelhante à aplicada no IPCC⁸ dos gases de efeito de estufa, sendo então a mais adequada para estimar cargas provenientes de uma fonte de poluição difusa (WFN 2010, pp. 40 – 49). O primeiro nível usa factores padrão de emissão baseados apenas na quantidade de agroquímicos aplicados no solo. O segundo nível aplica uma estimativa através do uso de modelos padronizados e simplificados, modelos estes que podem ser usados com base na vasta gama de dados disponíveis (por exemplo balanços aos nutrientes, dados de perdas do solo, informação básica sobre hidrologia, petrologia e hidromorfologia). O nível três aplica técnicas de modelação avançadas, de acordo com os recursos disponíveis e a exigência do tema em estudo. Devido à complexidade inerente aos últimos dois níveis, nesta dissertação o cálculo faz-se de acordo com a abordagem do primeiro nível. De acordo com a informação disponibilizada em tal estudo, é possível obter factores de emissão padrão para os agroquímicos mais importantes. A percentagem de contaminante transferida do solo para uma água superficial e do solo para uma água subterrânea, por lixiviação ou erosão do solo, pode ser obtida através do modelo **USEtox**TM. Este modelo entra em consideração com os processos de transporte do meio, tais como escoamento, erosão, lixiviação, volatilização e biodegradabilidade dos químicos. Estes processos são resultantes de propriedades químicas específicas, tais como coeficientes de partição entre ar e água, coeficientes de partição entre solo e água e taxas de degradação. Este modelo apresenta soluções admitindo um estado estacionário, o que implica considerar um largo período de tempo quando se pretende calcular uma

⁸ IPCC = Intergovernmental Panel on Climate Change.

percentagem de transferência entre o solo e uma água superficial. Esta consideração pode influenciar fortemente os resultados, principalmente para os metais, uma vez que estes podem levar centenas ou mesmo milhares de anos a atingir o estado estacionário. Ao encurtar o intervalo temporal, a percentagem de transferência de um metal entre o solo e uma água superficial pode ser reduzida substancialmente, mas tal não se verifica tão linear para compostos orgânicos. Porém, sendo os últimos os químicos mais tóxicos aplicados na cultura em estudo, a alteração do intervalo temporal não irá influenciar substancialmente o resultado de cálculo (WFN 2010, p. 51).

De um modo geral, o manual da Pegada Hídrica (2010) recomenda o uso de dados locais sempre que possível (Hoekstra et al., 2010, p.43). Para o caso da cultura agrícola em estudo, existem dados locais tanto para as taxas de aplicação de fertilizantes e pesticidas (AR) como para o rendimento da cultura (Y). No entanto, quando não existe tal informação, os dados provenientes de médias nacionais existentes em bases de dados globais podem consistir na única informação disponível. Por exemplo, para adquirir informação acerca do AR médio de fertilizantes por tipo de cultura agrícola e por país, deve-se consultar a base de dados Heffer (2009) ou a FertiStat (FAO, 2010a). Para o AR médio de pesticidas, a base de dados que se pode consultar é a Eurostat (2007), que fornece dados para os países europeus. Quanto ao rendimento da cultura, os valores médios por tipo de cultura agrícola e por país podem ser obtidos na base de dados FAOSTAT (FAO, 2010b).

Uma vez conhecidos todos estes fundamentos, o cálculo da água cinzenta torna-se então mais claro.

6. NOTA METODOLÓGICA

O estudo foi realizado entre Setembro de 2010 e Junho de 2011 e envolveu uma equipa de quatro técnicos, tendo a discente sido responsável por todos os cálculos relativos à água cinzenta. Estes incidiram sobre um intervalo temporal de oito anos, entre 2002 e 2010⁹, por forma a garantir neste estudo um ano de seca. A cultura em estudo foi o tomate, com plantações em várias zonas do distrito de Santarém. A cultura de tomate em estudo foi efectuada, em média, por cerca de 69 produtores por ano, possuindo estas áreas de cultivo que variaram entre 1 e 193 hectares e com uma produtividade média de aproximadamente 80 ton/ha.

As aplicações de fitofármacos efectuadas pelos produtores ao longo do ano, assim como outros dados, encontram-se compilados numa base de dados. Esta foi organizada em três blocos principais, sendo o primeiro respeitante à identificação das parcelas que se encontram ao cuidado de um determinado produtor. Neste mesmo bloco a identificação é feita tendo em conta o nome, conselho, freguesia, tipo de solo¹⁰, área plantada e produtividade. O segundo bloco contém os dados necessários ao cálculo das águas verde e azul, pelo que não será abordado em detalhe, uma vez que se encontra fora do âmbito desta dissertação. O terceiro bloco diz respeito à água cinzenta e contém todos registos dos químicos aplicados na cultura, adubos ou pesticidas, os quais são identificados através do seu nome comercial e correspondente substância activa. Neste último bloco, a primeira coluna identifica a finalidade com que foi aplicado o agroquímico, entre correcção orgânica, adubação de fundo, adubação de superfície, tratamentos fitossanitários e aplicação de herbicidas. As colunas seguintes possuem a data de aplicação, formulação/substância activa, nome comercial e taxa de aplicação, respectivamente. Um exemplo desta base de dados encontra-se ilustrada nas figuras 11 e 12.

⁹ Ano de 2005 excluído do estudo por falta de dados.

¹⁰ Existem três principais tipos de solo nas culturas em estudo: arenoso, argiloso e franco, podendo existir também combinações dois a dois : franco-argiloso, franco-arenoso e arenoso- argiloso.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V		
6					Parcela/ Plot						Cultura non-rice - Non-rice Crop										nota: ao preencher "variedade", todos o			
7																								
8		CROPWAT >>									Crop													
		Nº	Nome / Name	Produtor/ Producer	Nº Parcela/ Plot Nº	Concelho/ County	Freguesia/ Parish	Tipo de Solo (produto r)	Textura de Solo (análise)	Área/ Area (ha)	Produtiv./ Yeld (Ton/ha)			Nº Parcela/ Plot N	Nome da Cultura/ Crop name	Variedade	tipo de ciclo	Área instalada (hectares)	Semana da plantação	Dia de plantação/ Planting date	Coeficiente de Cultura/ Crop coefficient, Kc			
9																					I	D+M	L	
10																								
11		89	monte da rossa		1	coruche	biscainhas	argiloso		5	9,044			1	tomate	9661	P	5		20-Mai	0.6	1.15	0.8	
12																								
13																								
14																								
15																								
16																								
17																								
18																								
19																								
20																								
21																								
22																								
23																								
24																								
25																								
26																								
27																								
		89	90	91	92	93	95	97	98	99	101	102	103_a	104	105	108	110	111	112	folha 3	variedades	WFGREY	WFGREY_NO3	

FIGURA 11- Exemplo base de dados : primeiro e segundo bloco.

	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD	BE	BF	BG	BH	BI	BJ	BK
6																		
7	Irrigação - Irrigation										Aplicações/Água Cinzenta - Applications/Grey Water							
8	Schedule																	
9	Coeficiente de Stress Hídrico/ Water Stress Coefficient, Ks	Evapotranspiração/ Evapotranspiration	Depleção de água da zona radicular/ Root zone depletion (%)	Irrigação Bruta/ Gross Irrigation (mm/te mpo)	Perdas de irrigação/ Irrigation losses (mm/te mpo)	Irrigação Líquida/ Net Irrigation (mm/te mpo)	Défice hídrico/ Water deficit (mm/te mpo)	Fluxo/ Flow (L/s/ha)	Nº Parcela/ Plot N	Tipo de Intervenção	Data de aplicação	Matéria activa / Formulação	Nome Comercial	Taxa de aplicação média/average application rate (l/ha or kg/ha)	Concentração máxima/ maximum concentration (mg/L)	Concentração natural/ natural concentration (mg/L)		
10														Unit				
11									1	adubação de fundo	10-Mai	6-20-18	fertifos	450 kg				
12										adubação de cobertura	12-Jun	30%N+7%Mg+16%SO3	sulfazoto	400 kg				
13										adubação de cobertura		12-61-0	fosfato map	15 kg				
14										tratamentos fitossanitários	08-Jul	Folpete	folpec50	2 kg				
15										tratamentos fitossanitários	08-Jul	dimetoato	dafenil	1 l				
16										tratamentos fitossanitários	30-Jul	acefato	orthene	0.5 kg				
17										aplicação de herbicidas	ultima semana junho	Rinsulfurão (33)	titus	0.05 kg				
18										aplicação de herbicidas	ultima semana junho	Metribuzina (30)	sencor wg	0.2 kg				
19										aplicação de herbicidas	30-Jul	Folpete	fusilade	2 l				
20										aplicação de herbicidas	30-Jul	Metribuzina (30)	sencor wg	0.4 kg				
21																		
22																		
23																		
24																		
25																		
26																		
27																		
89 90 91 92 93 95 97 98 99 101 102 103 a 104 105 108 110 111 112 folha 3 variedades WFGREY WFGREY_NO3																		

FIGURA 12- Exemplo base de dados: continuação do segundo bloco e bloco água cinzenta

Como os dados foram facultados por produtor, foi possível efectuar o cálculo por produtor. Desta forma, a Pegada Hídrica Cinzenta anual é conseguida realizando uma média aritmética dos valores obtidos para todos os produtores associados num determinado ano.

Aos dados de cada produtor foi aplicada a **equação 8**, tendo em conta alguma informação imprescindível, tal como:

- (i) Qual ou quais os químicos mais tóxicos aplicados na cultura;
- (ii) A fracção de lixiviação (α);
- (iii) $C_{\text{máx}}$ e C_{nat}

(i) O químico mais crítico é aquele que se encontra classificado pela **DGADR** como agroquímico de elevado risco. As substâncias activas com tal classificação são: fosforeto de alumínio, fosforeto de magnésio, metame-sódio, 1,3-dicloropropeno e brometo de metilo. Ao analisar a base de dados constatou-se que, entre as mencionadas, apenas a substância **metame-sódio**¹¹ é aplicada nas culturas. No entanto, a taxa de aplicação que consta na base de dados, para esta substância, não corresponde à taxa efectivamente colocada, uma vez que, segundo a informação que consta na ficha de especificação desta substância, disponível no Agro Manual 2010, antes de ser aplicada sofre uma diluição de 1:10. Caso um determinado produtor não tenha aplicado na cultura nenhuma substância com tal classificação, a pegada cinzenta será calculada para aquela que possua maior toxicidade aguda (menor DL_{50}).

(ii) A fracção de lixiviação (α) para o agroquímico mais tóxico pode ser obtida através do software UseToxTM. Esta ferramenta calcula uma percentagem de químico que atinge águas subterrâneas e superficiais a partir de solos agrícolas. A substância metame-sódio, em contacto com água, origina MITC (isocianato de metilo), um gás venenoso e perigoso para os organismos aquáticos. Este composto possui, segundo o modelo adoptado, uma percentagem de lixiviação de 14,7%, sendo este o valor usado nos cálculos sempre que existissem aplicações de metame-sódio. Na tabela 2 constam os restantes valores de α utilizados, por ordem decrescente de toxicidade (IUPAC). Constatou-se também que o valor de α para compostos orgânicos não variava significativamente entre águas superficiais e subterrâneas, pelo que se assumiu o mesmo valor para ambas. O mesmo já não se verificou para compostos inorgânicos (WFN 2010, p. 51). Segundo a literatura, o cálculo deverá ser realizado separadamente para águas superficiais e subterrâneas, não só devido à diferença

¹¹ A substância **metame-sódio** possui a função de desinfectar o solo e actua substancialmente como nematocida.

entre os valores máximos permitidos nestas águas, mas também devido à diferença entre os valores de α . No entanto, como em Portugal a legislação é a mesma para ambas as águas, e para os compostos orgânicos (os mais tóxicos) contemplados neste estudo o valor de α não varia¹², nesta dissertação não houve necessidade de calcular as pegadas separadamente, uma vez que resultariam em valores iguais.

TABELA 2- Fracção de lixiviação por ordem decrescente de toxicidade (IUPAC).

Substância activa	DL50 oral para ratos (mg/Kg)	α
Ciflutrina	>16,2	0,001
Lambda-cialotrina	20	0,001
Metribuzina	32	0,202
Bifentrina	54,5	-
Alfa-cipermetrina	57	0,001
Deltametrina	87	0,001
Paraquato	110	0,001
Imidaclopride	134	0,031
Clorpirifos	135-163	0,009
Diquato	214	0,002
Folpete	>2000	0,33
Fluaziname	>4100	0,001
Mancozebe	>5000	0,033

- (iii) A concentração máxima permitida ($c_{m\acute{a}x}$) encontra-se no Decreto-Lei nº 236/98 e vem descrita para o parâmetro “pesticidas totais” na categoria A1. Segundo essa legislação, esta possui um valor de 1 $\mu\text{g/L}$ tanto nas águas superficiais como nas águas subterrâneas destinadas à produção de água para consumo humano: “Considerar-se-ão aptas para poderem ser utilizadas como origem de água para consumo humano as águas subterrâneas que apresentem qualidade superior ou igual à categoria A1 das águas doces superficiais destinadas à produção de água para consumo humano (...)”. A categoria A1 diz respeito às águas que são submetidas a um menor número de tratamentos antes de seguirem para consumo humano. Como tal, a tolerância nesta categoria é menor do que nas categorias A2 e A3, correspondendo estas a águas que passam por um maior número de tratamentos antes de se destinarem a consumo humano. Para efeitos de cálculo, assume-se que o valor de $c_{m\acute{a}x}$ é o valor atribuído à classe A1, dado que não se conhece antecipadamente quais os tratamentos aos quais o corpo de água receptor será submetido.

¹² Noutros compostos, que não estão presentes no caso de estudo, existe variação, a qual é de valor bastante reduzido.

Por falta de dados, a concentração natural do químico mais crítico foi assumida como sendo nula (Hoekstra et al. 2010, p.45).

Uma vez recolhida toda esta informação, foi possível proceder ao cálculo da Pegada Hídrica cinzenta para a cultura de tomate em estudo.

Por forma a simplificar a compreensão da metodologia de cálculo, segue-se então um exemplo da aplicação da equação 8 aos dados que constam nas figuras 11 e 12.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO 8:

- ✓ 1º Passo: Identificar o químico mais tóxico.

De acordo com a informação disponibilizada na figura 12, o químico mais tóxico colocado na cultura daquele produtor trata-se da metribuzina, uma vez que, segundo a IUPAC, é a que possui maior toxicidade aguda (tabela 2). Por sua vez, esta substância, de acordo com o modelo UseToxTM, possui uma fracção de lixiviação de 0.202, ou seja, cerca de 20% de toda a quantidade de metribuzina colocada no solo atinge uma água subterrânea.

- ✓ 2º Passo: Calcular a carga de poluente que atinge efectivamente um lençol freático.

Uma vez que a taxa de aplicação dos agroquímicos constitui um dado local, a quantidade do químico mais tóxico, por hectare, que efectivamente atinge uma água subterrânea, é conseguida através do produto entre a fracção de lixiviação e a taxa de aplicação desse químico. Por sua vez, este químico, anteriormente identificado no 1º passo, consiste na substância activa do produto comercializado como *Sencor WG*. Através da ficha de especificação deste fitofármaco, disponível no Agro Manual 2004 e 2010, sabe-se que, o teor em substância activa é apenas 35% do produto, pelo que ter-se-á que multiplicar antecipadamente a taxa de aplicação que consta na base de dados por esta percentagem. Desta forma, tem-se que a carga de metribuzina, por unidade de área, que atinge o lençol freático, é dada por:

$$AR_{metribuzina} = 0,35 \times 0,4 = 0,14 \text{ Kg / ha}$$

$$\frac{L_{metribuzia}}{ha} = \alpha \times AR_{metribuzia} = 0,202 \times 0,14 = 0,0283 \text{ Kg / ha}$$

- ✓ 3º passo: Calcular a Pegada Hídrica cinzenta do produtor.

Uma vez identificado o químico mais tóxico e conhecida a quantidade que efectivamente polui as águas, já se possui toda a informação necessária para a aplicar a equação 8, dado que todos os outros parâmetros desta equação já são previamente conhecidos. Sendo assim, sabendo que a

produtividade da cultura daquele produtor é de 9.044 ton/ha (figura 11), a concentração máxima permitida nas águas, por se tratar de um pesticida, é de 1 µg/L, ou seja 10^{-6} Kg/m³ e que a sua concentração natural nas massas de água é nula, tem-se que, a pegada hídrica cinzenta provocada pela cultura de tomate daquele produtor, é dada por:

$$WF_{cinzenta} = \frac{(\alpha \times AR) / (c_{\max} - c_{nat})}{Y} = \frac{0,0283 / 10^{-6}}{9,044} = 3,13 \times 10^3 m^3 / ton$$

7. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

7.1. TÓXICOS USADOS

No processo de cálculo da Pegada Hídrica verificou-se, desde logo, que, de entre as mais tóxicas, a substância activa com maior número de registos de aplicações foi a ciflutrina, ao passo que a substância aplicada em maiores quantidades num período de oito anos foi o metame-sódio. A primeira é da classe dos piretróides e é comumente utilizada como insecticida, ao passo que a última actua especificamente como nematocida. Os insecticidas destinam-se a exterminar os insectos que atacam as culturas, actuando principalmente sobre ovos e larvas, por contacto e/ou ingestão.

O metame-sódio classifica-se quimicamente como carbamato. Em termos de toxicidade, esta classe de substâncias actua bloqueando a transmissão dos impulsos nervosos para as glândulas e músculos do organismo. Desta forma, os animais perdem o controlo dos músculos respiratórios acabando por sufocar (Carapeto, 2011).

7.2. RESULTADOS DE CÁLCULO DA ÁGUA CINZENTA

Conhecidos então os tóxicos, foi aplicado o método descrito no capítulo 6 e, assim, efectuado o cálculo a Pegada Hídrica cinzenta (WF_{cinzenta} , m^3/ton) para os oito anos em estudo. Os resultados obtidos encontram-se compilados na tabela 3.

TABELA 3- Pegada Hídrica Cinzenta Anual.

Ano	2002	2003	2004	2006	2007	2008	2009	2010
WF_{GREY} (m^3/ton)	21774.7	6052.9	9558.0	14997.5	9633.2	19358.8	11924.3	4663.5

Tal como se pode verificar pela análise da tabela, é necessário um volume anual em metros cúbicos bastante elevado, para diluir todos os químicos aplicados na cultura, por cada tonelada de tomate produzida.

É possível constatar que o ano com maior Pegada Hídrica cinzenta é o de 2002 e o ano com menor é o de 2010. Independentemente do pesticida em questão, a diferença entre c_{max} e c_{nat} é de $10^{-6} \text{ kg}/\text{m}^3$, o que faz com que a capacidade de assimilação do corpo de água receptor seja constante. No entanto, no denominador da WF_{cinzenta} consta também a produtividade da cultura (Y , ton/ha), o que faz com que o resultado do indicador seja tanto menor quanto maior for o último. As restantes variáveis, que poderão influenciar a diferença de valores entre os anos do estudo, serão a fracção de lixiviação (α) e a taxa de aplicação (AR). De entre os químicos mais tóxicos, o metame-sódio é o que possui maiores taxas de aplicação, rondando os 200 l/ha (cerca de 105 kg/ha). Portanto seria de esperar que os anos com maior número de aplicações de metame-sódio fossem os anos com maior pegada cinzenta, mas

tal não acontece, pois o ano com maior número de aplicações de metame-sódio é o de 2008. O valor de α do metame-sódio também é um dos mais altos, portanto onde existem mais aplicações deste químico deveria igualmente existir a maior a pegada. A razão pela qual é o ano de 2002 a possuir maior pegada deve-se ao facto de ser o ano com a menor produtividade, de entre os anos com maior quantidade de metame-sódio aplicada (2002, 2006 e 2008). Como a Pegada Hídrica cinzenta de uma cultura agrícola é inversamente proporcional à sua produtividade, daí que seja o ano de 2002 o que revela o maior valor do indicador. Na tabela 4 constam os dados que possibilitaram este raciocínio.

TABELA 4 - Anos com maior Pegada Hídrica Cinzenta

	Carga total de metame-sódio (L, kg)	Rendimento médio da cultura (Y, ton/ha)
2008	27948.5	80.43
2002	17477.8	71.6

A razão pela qual o ano de 2010 possui a menor pegada cinzenta recai sobre o facto de consistir no ano com menos aplicações de metame-sódio. Todos os outros químicos em consideração possuem taxas de aplicação muito inferiores a este. A substância activa mais tóxica predominante nesse ano foi a ciflutrina, substância que possui taxas de aplicação que rondam os 0,025 kg/ha.

Por forma a facilitar uma análise da tendência dos valores obtidos ao longo do tempo, os dados da tabela 3 foram transpostos para o gráfico representado a figura 13.

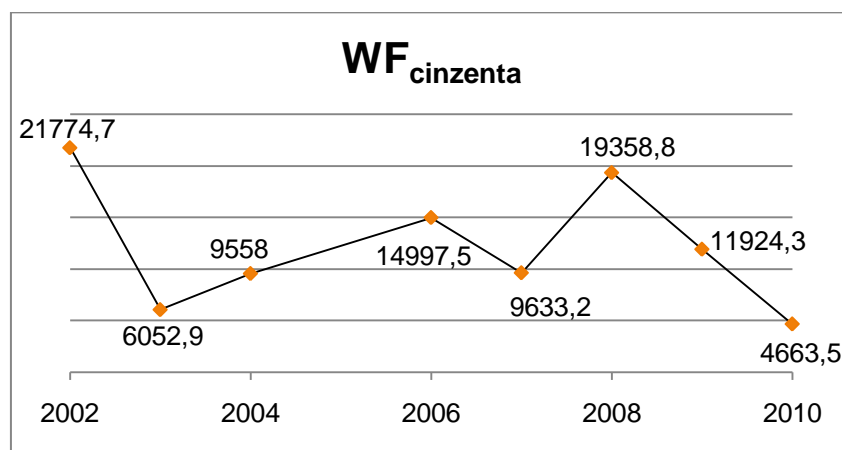


FIGURA 13- Evolução da Pegada Hídrica Cinzenta ao longo do tempo.

Como se pode constatar, os valores não demonstram qualquer tendência temporal, embora seja possível verificar o forte declínio do ano de 2010 relativamente aos outros anos. A média dos valores obtidos é de $1,2 \times 10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{ton}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ e a discrepância do ano de 2010 relativamente à média é de $7.58 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ton}$. Isto deve-se precisamente ao facto de, neste último ano, as aplicações de metame-sódio terem diminuído significativamente.

Em termos percentuais (Figura 14), verifica-se que o ano de 2002 possui um peso de 22% na pegada cinzenta média total (média dos oito anos), sendo o que mais contribui para o valor médio final, seguido pelo ano de 2008 e 2006, com contribuições da ordem dos 20% e 15%, respectivamente.

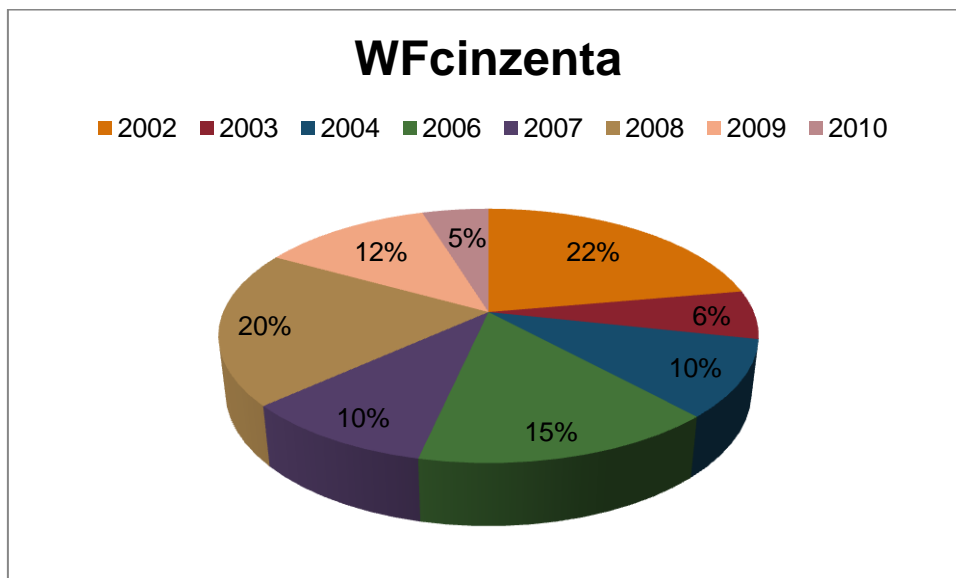


FIGURA 14- Peso percentual de cada ano na Pegada Cinzenta média final

7.3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DE CÁLCULO DA ÁGUA CINZENTA

Segundo um relatório elaborado por Hoekstra et al. em Dezembro de 2010 onde se encontram quantificadas as pegadas azul, verde e cinzenta para produções agrícolas mundiais entre o período de 1996-2005, a Pegada Hídrica cinzenta de uma cultura de tomate para Portugal, mais especificamente para a zona de Santarém, possui um valor médio de $14 \text{ m}^3/\text{ton}$ e, este valor, relativamente à média obtida no presente estudo, é cerca de 875 vezes inferior. A forte discrepância entre os valores deste estudo e o relatório concentra-se basicamente nos parâmetros de qualidade ambientais. Tal como mencionado no manual da Pegada Hídrica (2010), o tóxico a contabilizar é o químico mais crítico, ou seja, o que precisa de uma maior quantidade de água para ser diluído. Como tal, no presente trabalho, a partir do momento em que se constata que este se trata da substância activa de um determinado pesticida, o valor de $c_{\text{máx}}$ adoptado é o que consta na legislação do país decretado para os pesticidas. Porém, tanto no relatório de Hoekstra et al. como noutros estudos-piloto, apenas são contabilizados os compostos azotados, “ignorando” todos os outros químicos aplicados na cultura, certamente com carácter mais tóxico. Ao optar somente pelos nitratos, o valor de $c_{\text{máx}}$ aumenta significativamente¹³, o que resulta em valores de Pegada Hídrica muito menores.

Tamanha discrepância pode ser também justificada, tendo em conta a natureza dos dados de cálculo adoptados. Ao passo que, nesta dissertação, sempre que possível, se utilizaram dados locais, na elaboração do relatório todos os dados provêm de bases de dados com estimativas nacionais. Tal como foi estudado em vários projectos-piloto patrocinados por uma parceria entre a *Coca-Cola Company*[®] e a *The Nature Conservancy* (2010), os dados de cálculo provenientes de estimativas apresentam um elevado grau de incerteza associado. Aliás, esta análise de sensibilidade evidencia especificamente, para o caso da Pegada Hídrica cinzenta, que os dados relacionados com a taxa de aplicação, escoamento e infiltração de pesticidas e fertilizantes são os principais responsáveis por um valor final com elevada margem de incerteza, uma vez que normalmente não fazem parte da informação disponibilizada nos estudos-piloto, acabando por serem assumidos para simplificar o cálculo.

Isto não se deve propriamente a uma falha metodológica, mas antes ao facto de a própria metodologia contemplar diferentes graus de rigor. Tal como referido na secção 5.3 desta dissertação, o cálculo pode ser feito segundo três níveis de detalhe, semelhante à metodologia adoptada para estimar as emissões dos gases de efeito de estufa, sempre que se trata de uma fonte de poluição difusa. Do nível 1 ao 3, a precisão aumenta, mas a viabilidade diminui, o que faz com que, até à data, não existam estudos-piloto com abordagens superiores ao primeiro nível (Hoekstra et al 2010, pp.39-40). No presente estudo, embora o cálculo também siga uma abordagem de primeiro nível, foram usadas bases de dados locais, o que torna, a este nível, o cálculo extremamente rigoroso.

Analisando a tendência dos resultados médios anuais, ilustrados no gráfico da figura 13, percebe-se claramente que a partir de 2008, as medidas tomadas contribuíram fortemente para o declínio

¹³ $c_{\text{máx}}(\text{azoto}) = 11,3 \text{ mg/L} \gg c_{\text{máx}}(\text{pesticidas}) = 1 \text{ } \mu\text{g/L}$

significativo da Pegada Hídrica cinzenta. Tal pode ser justificado, tendo em conta que, a partir desse ano, a aplicação da substância metame-sódio foi fortemente reduzida nas culturas. Esta trata-se de uma substância que é aplicada sempre em grandes quantidades e , dentro das mais tóxicas, é das que possui maior fracção de lixiviação, pelo que é natural requerir maiores volumes de água para a diluir até $c_{máx}$. Como tal, de acordo com estas constatações, tudo indica que a redução das quantidades de pesticidas aplicadas ou até mesmo a sua substituição por outros menos tóxicos contribuí substancialmente para a redução do valor da Pegada Hídrica cinzenta.

Porém, há que salvaguardar que, sendo o metame-sódio um nematocida que actua por fumigação, durante a sua acção de desinfecção do solo, o composto vai-se evaporando, havendo então libertação do gás MITC para a atmosfera, pelo que é muito pouco provável sofrer lixiviação. Logo, a fracção de lixiviação do metame-sódio calculada pelo modelo UseToxTM revela-se bastante elevada, levando consequentemente a elevados valores de Pegada Hídrica cinzenta, os quais não correspondem provavelmente à realidade, tendo em conta a informação sobre o modo de acção deste pesticida. É precisamente por estes “desvios” à realidade que existe uma forte necessidade de avançar para uma abordagem de nível 2 ou 3 no cálculo da fracção de lixiviação, por forma a torná-lo mais rigoroso.

Mesmo tendo-se verificado a diminuição do valor do indicador no último ano, este continua a ser consideravelmente elevado, revelando um elevado grau de poluição das águas, situação ambiental que é preocupante e que se encontra discutida no sub-capítulo seguinte.

7.4. AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DA PEGADA HÍDRICA CINZENTA

A Pegada Hídrica cinzenta para um determinado período e numa determinada bacia hidrográfica origina um *hotspot*¹⁴ quando as normas ambientais da água nesse período são violadas, ou seja, quando a capacidade de assimilação de poluentes é completamente consumida. Como tal, para avaliar o impacte ambiental numa determinada bacia hidrográfica, pode-se calcular o nível de poluição hídrico (WPL). Este indicador é definido como a fracção consumida da capacidade de assimilação de poluentes e pode ser calculado através do quociente entre a Pegada Hídrica cinzenta da massa de água receptora ($WF_{cinzenta}$, volume/tempo) e o escoamento actual nessa mesma massa de água (R_{act} , volume/tempo), podendo esta consistir numa bacia hidrográfica, rio, lago, etc.

EQUAÇÃO 9- Nível de Poluição Hídrico.

$$WPL[x,t] = \frac{\sum WF_{cinzenta}[x,t]}{R_{act}[x,t]}$$

Quando este indicador excede os 100%, significa que as normas de qualidade ambientais da água foram violadas. O nível de poluição hídrico é então calculado por bacia hidrográfica (x) e por período de tempo (t).

Tanto a Pegada Hídrica cinzenta como o escoamento actual variam ao longo dos anos, havendo então também uma variação do nível de poluição (Hoekstra et al., 2010, p.79). Como os dados provêm maioritariamente do Distrito de Santarém, os valores do escoamento actual devem consistir naqueles que se encontram registados na estação hidrométrica representativa do distrito, incluída na bacia hidrográfica do Tejo (ver anexo 1). Analisando a rede hidrográfica do distrito, verifica-se que o rio Tejo consiste no corpo de água principal daquela zona, pelo que se prevê que os agroquímicos utilizados nas culturas agrícolas circundantes acabem por ir lá desaguar. Ao analisar as estações disponíveis no SNIRH para aquele troço do Tejo, identificou-se duas estações situadas nessa zona, estando uma a montante do território em análise (Ómnias) e outra ajusante (Tramagal). Havendo que escolher uma das estações, optou-se antes de mais pela realização de uma análise comparada do escoamento de cada uma. Na medida em que, estes dados apresentam curvas com comportamento idêntico (ver figura 15), optou-se pela estação cujos dados são mais completos (Tramagal).

¹⁴ Um *hotspot* ambiental é definido como o período em que, na bacia hidrográfica considerada, as normas de qualidade ambientais são violadas.

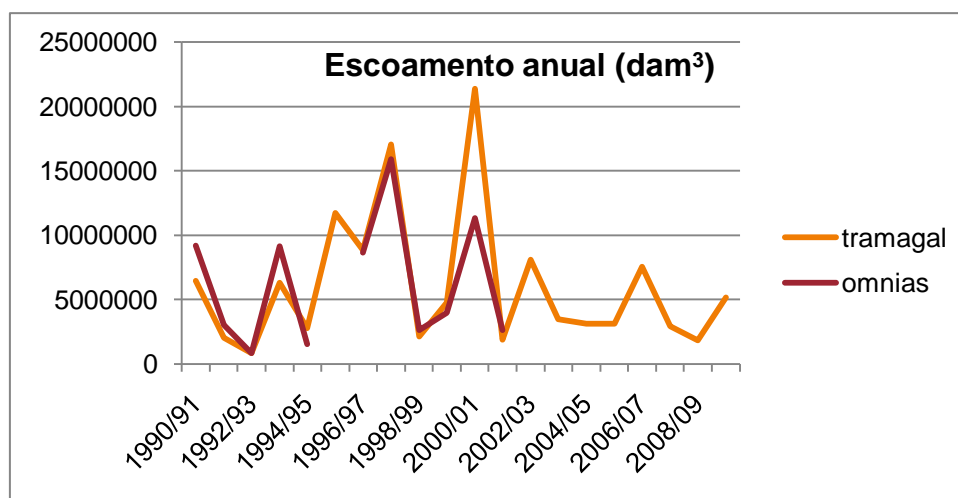


FIGURA 15- Curvas de escoamento anual para estações hidrométricas do Tramagal e Ómnias.

Como WPL é um indicador adimensional, a Pegada Hídrica cinzenta anual anteriormente calculada em m³/Ton será que ser transposta para m³ (equação 10). Para tal, é necessário o valor da carga do poluente mais tóxico (*Appl*, em Kg/ano) aplicado durante o ano, a sua fracção de lixiviação e da diferença entre $c_{máx}$ e c_{nat} (capacidade de assimilação do poluente). O primeiro é conseguido multiplicando a taxa de aplicação do químico mais crítico ($AR_{metame-sódio}$, kg/ha) pela área cultivada (em hectares), estando estes dados presentes na base de dados de cada produtor. O segundo possui o valor de 0.147, de acordo com o modelo UseToxTM e o terceiro foi conseguido tal como no cálculo da $WF_{cinzenta}$ da tabela 3, onde $c_{máx}$ é 0,000001 kg/m³ e a c_{nat} é assumida como nula.

EQUAÇÃO 10- Pegada Hídrica Cinzenta resultante de fonte de poluição difusa.

$$WF_{cinzenta} = \frac{L}{c_{máx} - c_{nat}} = \frac{\alpha \times Appl}{c_{máx} - c_{nat}}$$

Tendo em consideração todos estes dados, foi possível calcular o nível de poluição hídrico anual, que consta na tabela 5, para o intervalo temporal em estudo.

TABELA 5-Resultados do Nivel De Poluição Hídrica Anual.

Ano	2002	2003	2004	2006	2007	2008	2009	2010
Escoamento (m³/ano)	8.10 x10 ⁹	3.49 x10 ⁹	3.10 x10 ⁹	7.53x10 ⁹	2.90x10 ⁹	1.81x10 ⁹	5.14x10 ⁹	7.52x10 ⁹
Carga metame-sódio (Kg)	2.57x10 ³	1.02x10 ³	1.49x10 ³	1.84x10 ³	1.82E+03	4.11x10 ³	2.52x10 ³	9.05x10 ²
$c_{máx}-c_{nat}$ (Kg/m³)	1x10 ⁻⁶	1x10 ⁻⁶	1x10 ⁻⁶	1x10 ⁻⁶	1x10 ⁻⁶	1x10 ⁻⁶	1x10 ⁻⁶	1x10 ⁻⁶
$WF_{cinzenta}$ (m³/ano)	2.57x10 ⁹	1.02x10 ⁹	1.49x10 ⁹	1.84x10 ⁹	1.82x10 ⁹	4.11x10 ⁹	2.52x10 ⁹	9.05x10 ⁸
WPL	0.32	0.29	0.48	0.24	0.63	2.27	0.49	0.12

Pela análise dos resultados, constata-se que, de um modo geral, a pegada não consome anualmente toda a capacidade de assimilação do Rio Tejo, à excepção do ano de 2008, pois neste ano o WPL excede a unidade. No entanto, para os restantes anos que apresentam WPL inferior à unidade, não se pode afirmar que a Pegada Hídrica cinzenta é sustentável, uma vez que a fracção consumida da capacidade de assimilação revela-se significativa, situação ambiental considerada preocupante. Além disso, independentemente de se tratar de uma massa de água com escoamento suficiente para incorporar os químicos descarregados, a pegada continua a ser considerada insustentável sempre que o seu valor possa ser reduzido (Hoekstra et al, 2010, p.93).

Contudo, calcular o nível de poluição hídrica para uma massa de água tão abrangente e para um largo período de tempo também nos trás desvantagens, uma vez que se está a calcular uma média para um extenso corpo de água, o que faz com que o resultado não seja tão eficaz a mostrar as diferenças do nível de poluição no mesmo. Provavelmente se o cálculo fosse feito mensalmente, o WPL seria suficientemente representativo da variação do nível de poluição hídrica com o tempo (Hoekstra et al., 2010, p.79), mas como só existem dados para um período anual, não foi possível proceder dessa forma.

O WPL, enquanto indicador agregado, possui um elevado grau de incerteza associado, devido à perda de informação no processo de agregação de dados. Vários estudos que visam analisar a sensibilidade e incerteza deste tipo de indicadores concluem que, embora estes representem um bom instrumento de apoio à decisão e aos processos de gestão ambiental, não devem consistir na única ferramenta a ter em conta numa tomada de decisão. Para este fim, a informação fornecida pelos indicadores deve ser complementada com informação adicional, podendo esta advir de outros indicadores (Böhringer et al, 2007) (Tarantola et al, 2004). Por esta mesma razão, os resultados do presente trabalho devem ser analisados com a devida prudência. Para o caso de 2008, um WPL superior à unidade revela que os parâmetros de qualidade ambientais foram violados, o que poderia resultar numa grave catástrofe ambiental, precisamente por colocar em risco não só a vida dos organismos aquáticos, mas também a saúde humana. Como tal, há que notar que se realmente no ano de 2008 o Rio Tejo tivesse sobre tal situação, a substância metame-sódio certamente tinha sido colocada na lista de substâncias prioritárias no domínio da política da água que consta na directiva 2008/105/CE. Como tal não se sucedeu, os resultados certamente que não ilustram a situação ambiental o Rio Tejo na zona de Santarém. No entanto, incluindo na análise dos resultados estas limitações, por se tratarem de valores elevados, não devem ser desprezados, uma vez que retratam uma poluição proveniente da prática agrícola moderna, de certa forma, alarmante.

Uma estratégia que permita manter os níveis de pesticidas nas águas abaixo das concentrações máximas terá que passar por uma severa redução das quantidades usadas na agricultura ou até mesmo a sua completa abolição (Hoekstra et al., 2010, p.92). Actualmente já existem várias opções agrícolas que visam exactamente a adopção de tal estratégia, que é o caso da agricultura sustentável, tal como referido na secção 2.3.2 desta dissertação.

Assume-se frequentemente que a redução da Pegada Hídrica é somente relevante em lugares onde a escassez e poluição hídrica existem. Este raciocínio leva a crer que não existe necessidade de reduzir a Pegada Hídrica cinzenta onde existe água suficiente para diluir as concentrações de poluentes até aos valores permitidos por lei. O argumento por detrás deste raciocínio é na realidade o seguinte: quando a Pegada Hídrica cinzenta de uma determinada bacia hidrográfica e num determinado período não convive com uma escassez ou poluição significativa, a pegada em si é considerada sustentável. Porém, este tipo de argumento leva ao equívoco de que a sustentabilidade do uso da água depende somente do contexto geográfico. Na verdade, a Pegada Hídrica é considerada insustentável ou precisa de ser reduzida quando contribui para um *hotspot* ou quando consegue ser evitada ou até mesmo eliminada, independentemente do contexto geográfico. Sendo assim, a necessidade de reduzir a Pegada Hídrica ocorre também em áreas onde a água existe abundantemente, não para resolver problemas hídricos locais, mas sim para promover um uso sustentável, equitativo e eficiente da água a nível global. No entanto, embora qualquer redução da Pegada Hídrica contribua para a resolução do problema mundial dos recursos hídricos limitados, a prioridade consiste em reduzir as pegadas hídricas situadas em *hotspots*, pois assim tanto se soluciona o uso racional de água local como o global (Hoekstra et al, 2010, p.93).

8. CONCLUSÕES

A Pegada Hídrica cinzenta anual do tomate possui um valor médio $1,2 \times 10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{ton}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ e observou-se que os valores obtidos para cada ano não variam significativamente entre si, à excepção do ano de 2010, com uma discrepância de $7.58 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ton}$ relativamente à média.

Existem 3 factores principais que explicam os elevados valores da Pegada Hídrica cinzenta. O primeiro é o facto do químico mais poluente (metame-sódio) possuir taxas de aplicação elevadas (cerca de 105 kg/ha), dentro das práticas convencionais do actual modelo de agricultura intensiva. O segundo baseia-se no facto da fracção de lixiviação desse mesmo químico ser também das mais elevadas, o que traduz grandes quantidades a atingir os lençóis freáticos, havendo necessidade de grandes volumes de água para o diluir. O terceiro factor consiste na reduzida tolerância à presença de pesticidas na água destinada à produção de água para consumo humano. Como a concentração máxima de pesticidas permitida nestas águas é de 1 µg/L, o volume de água necessário para atingir tal valor revela-se demasiado elevado. Há que frisar que, o segundo factor, deve ser recebido com especial prudência, uma vez que se trata de um valor estimado e que, no caso da substância metame-sódio, revela um valor pouco viável.

O nível de poluição hídrica é um indicador relevante do impacte ambiental local e, para o caso da cultura de tomate, demonstrou que na zona em estudo o grau de poluição é preocupante para o ano de 2008. No entanto, os valores obtidos para o WPL não reflectem uma situação real, embora não devam ser descurados na avaliação da sustentabilidade da Pegada Hídrica cinzenta local.

Precisamente pelo facto do WPL e a fracção de lixiviação nem sempre reflectirem resultados credíveis, acredita-se que uma abordagem de um nível mais rigoroso seja necessária para melhorar a metodologia actual. No presente estudo não foi possível proceder de tal forma devido à falta de informação local suficiente e por exigir um trabalho de campo bastante intensivo.

Porém, para promover uma Pegada Hídrica cinzenta mais sustentável, podem ser tomadas várias iniciativas, sendo uma delas a abolição completa de pesticidas e fertilizantes sintéticos na agricultura, ou a sua substituição por substâncias menos tóxicas, de carácter orgânico. Esta estratégia vem ao encontro dos resultados obtidos neste estudo, uma vez que revelam uma diminuição acentuada da pegada no ano de 2010, por redução do uso de um dos químicos considerados de elevado risco.

Porém, a prioridade centra-se na redução da Pegada Hídrica cinzenta dos *hotspots*, uma vez que esta iniciativa promove não só um uso racional da água local como global.

Segundo o Relatório do Desenvolvimento Humano (2006), um dos principais factores capaz de promover um reajuste do consumo de água à sua procura, de modo a manter a integridade do meio ambiente, passa por garantir que as indústrias paguem os custos de limpeza da poluição que as próprias provocam. Isto implica que a legislação governamental imponha leis ambientais fortes, através da aplicação de impostos às entidades poluentes, pois, com isto, acredita-se que a situação

das reservas de recursos hídricos melhora. Outro factor, que oferece ainda mais vantagens, passa por adoptar tecnologias de prevenção da poluição por parte das indústrias. Um caso que ilustra o sucesso de tal intervenção é o da Índia, um país onde escasseia a água, uma vez que os custos operacionais dessas tecnologias tornaram-se mais competitivos com o aumento do custo da água. Diversas indústrias locais investiram no tratamento de águas através de osmose inversa e nas tecnologias de reciclagem, conseguindo desta forma depurar eficazmente as águas residuais. Com este exemplo, torna-se perceptível que os incentivos e a tecnologia podem melhorar situações graves de escassez de água. Mais que isso, se a própria indústria tratar dos efluentes responsáveis pela sua poluição, não só resolve o problema da gestão sustentável dos recursos hídricos, como também consegue anular a sua Pegada Hídrica cinzenta, pois consegue-se prevenir o problema através da defesa da bacia hidrográfica onde se encontra (UNDP, 2006). Embora a agricultura não consista num sector tão poluente dos recursos hídricos como a indústria, este trabalho revelou que as práticas agrícolas provocam um nível de poluição hídrica não menos preocupante, pelo que as medidas ambientais propostas para o primeiro sector deveriam também ser aplicadas ao último.

9. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A maior dificuldade na elaboração deste estudo foi a obtenção de dados respeitantes aos pesticidas, tais como c_{nat} , c_{max} e α . Os parâmetros c_{nat} e c_{max} precisam de ser definidos para cada químico presente no efluente descarregado no corpo de água receptor. Nas zonas onde existem descargas de material poluente, deverão existir avaliações de ambos os parâmetros para todos os químicos presentes na descarga. O sistema nacional de informação de recursos hídricos já possui uma vasta lista de químicos avaliados por bacia hidrográfica, no entanto não existem os valores necessários para os químicos presentes neste estudo. Portanto, uma das melhorias a propor consiste na possibilidade de obter informação mais extensiva sobre concentrações de agroquímicos nas bacias hidrográficas perto de zonas agrícolas, por parte do sistema nacional de recursos hídricos.

A aplicação de fitofármacos nas culturas constitui uma poluição não-pontual. Como tal, a quantidade de poluente que atinge a superfície do solo não é a mesma que atinge o lençol freático, uma vez que sofre uma atenuação ao longo dos caminhos hidrológicos. A atenuação específica do poluente (R) deveria ser um coeficiente tabelado por forma a considerar a atenuação da carga de poluente desde o solo até ao corpo de água receptor, no cálculo da pegada cinzenta. Para tal, deverá ser feita uma investigação mais intensiva que permita identificar os factores cruciais responsáveis pela alteração da carga de poluente durante esse percurso. O uso destes coeficientes contribui para a redução da pegada cinzenta, tornando assim o valor mais realista. Como a atenuação desde o solo até uma água superficial difere da atenuação desde o solo até uma água subterrânea, o cálculo deverá ser realizado separadamente para cada uma das águas.

Embora este trabalho siga uma abordagem de primeiro nível, tal como proposto pelo estudo exploratório da pegada cinzenta, as abordagens de níveis superiores deverão ser exploradas e desenvolvidas. Actualmente, com base na informação disponibilizada já é possível aplicar uma abordagem de nível 2, mas tal necessitará de um trabalho de campo bastante mais demorado, uma vez que tem em conta a implementação de modelos padronizados.

Durante a análise de sustentabilidade ambiental, a falta de dados nas estações hidrométricas das zonas em estudo constituiu também num obstáculo. Embora tenha sido facilmente contornado, devido à presença de outras estações perto dos locais de interesse, é de salientar que o valor final do indicador WPL seria mais realista com dados provenientes das próprias zonas. Com isto, sugere-se que haja um esforço por parte do sistema nacional de informação de recursos hídricos em melhorar a monitorização das estações hidrométricas, para que os dados disponíveis na sua plataforma *online* não se encontrem incompletos.

Ainda na análise de sustentabilidade ambiental, propõe-se que, sempre que possível, se faça o cálculo do WPL para um período de tempo mais curto, isto é, mensalmente ou até diariamente, de maneira a evidenciar as diferenças do nível de poluição na bacia hidrográfica em estudo.

10. BIBLIOGRAFIA

A.Y. Chapagain, A. K. Hoekstra. 2004. Water footprints of nations. *Value of Water Research Report Series*. Delft, Holanda : UNESCO-IHE, 2004. Vol. 13.

A.Y. Hoekstra., Mekonnen. 2010. *THE GREEN, BLUE AND GREY WATER FOOTPRINT OF CROPS AND DERIVED CROP PRODUCTS : Volume 1 - MAIN REPORT*. The Netherlands : UNESCO-IHE Institute for Water Education., 2010. Nº 47.

ACCA. 2009. Water: The next carbon? <http://www.accaglobal.com/documents/WaterFootprinting.pdf>. 2009.

Agricultural impacts on water quality an implications for virtual water trading decisions. **Dabrowski, J.M, K. Murray, P.J. Ashton and J.J. Leaner. 2009.** Pretoria, South Africa : Ecological Economics, 2009, pp. 1074-1082. 68.

Agro - Manual 2010. *Produtos Fitofarmacêuticos, Organismos Auxiliares, Fertilizantes - Sementes*.

Agro Manual 2004. *Produtos Fitofarmacêuticos, Fertilizantes e sementes*.

Água Online. [Online] www.aguaonline.net.

AIA (2010). Associação intermunicipal de água da região de Setúbal. [Online] <http://www.aia-regiaoetubal.pt>.

Amaro, Pedro (2004). As organizações de agricultores de protecção integrada e de produção integrada. *Projecto Agro 13*. Cadaval : ISA Press.

Amaro, Pedro (2005). *As características toxicológicas dos pesticidas em Portugal*. Lisboa : ISA/Press.

Amaro, Pedro (2007). *A POLÍTICA DE REDUÇÃO DOS RISCOS DOS PESTICIDAS EM PORTUGAL*. Cadaval : ISA/Press.

APA (2007). SIDS - Portugal. Lisboa : Ministério do ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.

APA (2010). SIDS Portugal : Indicadores-chave 2010. Lisboa : Ministério do ambiente e do ordenamento do território.

Associação Nacional de conservação da natureza. [Online] www.quercus.pt.

Carapeto, Cristina. 2011. Pesticidas. *Lições de Poluição da Universidade Aberta*. Lisboa : Universidade Aberta, 2011.

Carson, Rachel. 1962. *Silent Spring - A Primavera Silenciosa*. São Paulo : Portico, 1962.

CE (1980). Directiva 80/778/CEE do conselho, de 15 de Julho de 1980, relativa à qualidade das águas destinadas ao consumo humano. J. Ofic. nº L 229 de 30/08/1980: 11-29.

CE (1998). Directiva 98/83/CE do conselho, de 3 de novembro de 1998, relativa à qualidade da água destinada ao consumo humano. J. Ofic. nº L330 de 5/12/1998 : 32-54.

CE (2000). Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro de 2000, que estabelece um quadro de acção comunitária no domínio da política da água. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*.

CE (2006). Water Scarcity and Drought. *First Interim report*. Finland.

CE (2008). Directiva 2008/105/ce do parlamento europeu e do conselho de 16 de Dezembro de 2008 relativa a normas de qualidade ambiental no domínio da política da água, que altera e subsequentemente revoga as Directivas 82/176/CEE, 83/513/CEE, 84/156/CEE, 84/491/CEE. *Jornal Oficial da União Europeia*.

Cerejeira, M. J. 2003. Pesticides in Portuguese surface and ground waters. *Wat. Res.*, 2003. Vol. 37, pp. 1055-1063.

Chambel, António. Recursos Hídrico subterrâneos. *Alentejo Litoral*. [Online]
<http://www.alentejolitoral.pt/Downloads/Ambiente/Recursos%20geológicos/Recursos%20hídricos%20subterrâneos.pdf>.

Chapagain, A.K., A.Y. Hoekstra, H.H.G. Savenije and R. Gautam. 2006. the water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resouces in the cotton producing countries. *Ecological Economics*, 2006. Vol. 60 (1), pp. 186-203.

Coca-Cola Company, The Nature Conservancy (2010). Product Water Footprints Assessments. *Pactical application in corporate water stewardship*.

Colborn, T., Vom Saal, F. and Short, P. 1998. Enviroment endocrine-disrupting chemicals: neural, endocrine, and behavioral effects. *Princeton Scientific Publishing*. 1998. pp. 1-9.

Dantas, Maria da Conceição and Ramalho, Marta Duarte. 2004. *Jogo de Partículas - Manual de Ciências Físico-Químicas 11º ano*. Lisboa : Texto Editora, 2004. ISBN 972-2543-X-1.

DGA (2000). Proposta para um sistema de indicadores de desenvolvimento sustentável. Amadora, Lisboa : Direcção Geral do Ambiente.

DGADR. 2005. Direcção de serviços de produtos fitofarmacêuticos e de sanidade vegetal. *Nota informativa: Produtos fitofarmaceuticos de elevado risco*. 2005.

EC (2006). Water Scarcity and drought - First interim report. *In-Depth assesement*. Finland : European Comission.

EEA (2010). Freshwater quality. *State and Outlook 2010*. Copenhagen : European Enviroment Agency.

EPI (2010). Enviromental Performance Index 2010. [Online] <http://epi.yale.edu/>.

Ercin, A. E., Aldaya, M. M. and Hoekstra, A. Y. 2009. The water footprint of a sugar-containing carbonated beverage. *Value of water research report series no. 39: a pilot in corporate water footprint accounting and impact assessment*. Enschede, The Netherlands : UNESCO-IHE, 2009.

Erisman, Jan Willem, et al. 2008. How a century og ammonia synthesis changed the world. *Nature Geoscience*. 2008. Vol. 1.

EXTOXNET (2011). EXTOXNET. *The EXtension TOXicology NETwork*. [Online]
<http://extoxnet.orst.edu/ghindex.html>.

FAO (2010a). FertiStat - Fertilizer use statistics. Food and Agriculture Organization. [Online] FAO. www.fao.org/ag/agl/fertistat/.

FAO (2010b). FAOSTAT database. [Online] Food and Agriculture Organization. faostat.fao.org.

Froehlich, José Marcos. 2007. Evolução histórica da ciência agronômica. *Iniciação à agronomia*. Santa Maria, Brasil : Universidade Federal de Santa Maria- Centro de ciências rurais, 2007.

Garcia Alonso, J., Munshi, A. and Greenway, G.M. 2011. Biological responses to contaminants in the Humber Estuary: Disentangling complex relationships. *Marine Environmental Research*. 2011. Vol. 71, pp. 295-303. 4.

GFN (2011). Global Footprint Network: Advancing the Science of Sustainability. [Online] <http://www.footprintnetwork.org>.

Gibertson, M. K., et al. 2002. Immunosuppression in the Northern Leopard Frog (*Rana Popiens*) Induced by Pesticide Exposure. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2002. Vol. 22(1), pp. 101-110.

Gouzee, N., Mazijn, B. & Billharz, S. 1995. Indicators of Sustainable Development for Decision-Making. *Report of the Workshop of Ghent, Submitted to UN Commission on Sustainable Development*. Brussels : Federal Planning Office of Belgium, 1995.

Heffer, P. 2009. *Assessment of Fertilizer Use by Crop at the Global Level 2006/07-2007/08*. Paris : International Fertilizer Industry Association, 2009.

Hoekstra, A. Y. 2003. Virtual Water Trade: Proceedings of the international meeting on virtual water trade. *Value of of Water Research Report series*. Delft, Holanda : UNESCO-IHE, 2003. 12.

Hoekstra, A. Y., et al. 2009. Water Footprint Manual - state of the art 2009. Eschede, The Netherlands : Water Footprint Network, 2009.

Hoekstra, Arjen Y., et al. 2010. *Water footprint manual*. Netherlands : water footprint network, 2010.

INAG (2004). Economia da Água. *Plano Nacional da Água*. Vol. IV.

INAG(2001a). Programa Nacional para o uso eficiente de água. *Estudo elaborado pelo laboratório nacional de Engenharia Civil com o apoio do Instituto Superior de Agronomia*. Lisboa.

INAG(2001b). Plano Nacional das águas. Vol. 1.

IUPAC. IUPAC AGROCHEMICAL INFORMATION. *Iupac footprint Pesticides Properties Database*. [Online] <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/154.htm>.

Kallis, Giorgio and Nijkamp, Peter. 1999. Evolution of EU water policy: A critical assessment and a hopeful perspective. *Serie research memoranda*. Amsterdam : 1999.

Litmans, Brian and Miller, Jeff. 2004. Silent Spring Revisted : Pesticide Use and Endangered Species. *Center for biological diversity*. Tucson : Diane pub co., 2004.

Measuring the immeasurable - A survey of sustainability indices. **Böhringer, Christoph and Jochem, Patrick. 2007.** Germany : Elsevier, 2007, Ecological Economics, Vol. 63, pp. 1-8.

Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y. (2010). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Value of Water Research Report Series No. 47*. Delft, The Netherlands : UNESCO-IHE, <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report47-WaterFootprintCrops-Vol1.pdf>.

Ministério do Ambiente (1998). Decreto-lei nº 236/98. *Diário da república- Série I - A*.

OECD (2008). *Handbook on Constructing Composite Indicators: methodology and user guide*. EC : Organisation for economic co-operation and development. ISBN 978-92-64-04345-9.

OPEN:EU (2011). Integrating Ecological, Carbon and Water footprint: Defining the "Footprint Family" and its Application in Tracking Human Pressure on the Planet.

Park, D., Hempleman, S. C. and Propper, C. R. 2001. Endosulfan exposure disrupts pheromonal systems in the red-spotted newt: A mechanism for subtle effects of environmental chemicals. *Environmental Health Perspectives*. 2001. Vol. 109, pp. 669-673.

Pereira, Teresa. 2003. *AGRO_24- Cap.2-A utilização de pesticidas e o seu impacto sobre os recursos hídricos*. 2003.

Portal do ambiente e do cidadão. [Online] [Cited:] www.ambiente.maiadigital.pt.

Reylea, R.A. and Mills, N. 2001. Predator-induced stress makes the pesticide carbaryl more deadly to gray treefrog tadpoles,. *Hyla versicolor*, *Proceedings of the national academy of sciences*. USA : s.n., 2001. Vol. 98, pp. 2481-2496.

SAB-Miller and WWF 2009 . Water Footprinting : Identifying and addressing water risks in the value chain.

Schuschny, Andrés and Soto, Humberto. 2009. Guía metodológica: Diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible. Santiago de Chile : CEPAL, 2009. LC/W.255.

Simões, Ana, Vieira, Ricardo and Domingos, Tiago. 2004. Aplicação de Análise Multicritério a Indicadores Agregados de Sustentabilidade. Secção de Ambiente e Energia, DEM, Instituto Superior Técnico, 2004.

SNIRH (2011). Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. [Online] <http://www.snirh.pt/>.

Teixeira, Filomena. 2000. *Utilização de pesticidas agrícolas*. IDICT, 2000.

Toxicologia aplicada. [Online] <http://lcc.nutes.ufjf.br/toxicologia/mXII.piret.htm>.

Uncertainty and sensitivity analysis techniques as tools for the quality assessment of composite indicators. **Saisana, M., Salteli, A. and Tarantola, S. 2006.** [ed.] European Commission. Ispra, Italy : J. R. Statist. Soc. A, 2006, Vol. 168, pp. 307-323. ISBN 0-618-24906-0.

UNDP. 2006. Escassez de água - Riscos e vulnerabilidade associados. *Relatório do Desenvolvimento Humano*. 2006. Vol. 4.

UN-WATER. 2007. Coping with water scarcity. *Challenge of the 21st century*. 2007.

WBCSD. 2009. Water, Energy and Climate Change: A contribution from the business community. Istanbul : 5º Fórum Mundial da água, 2009.

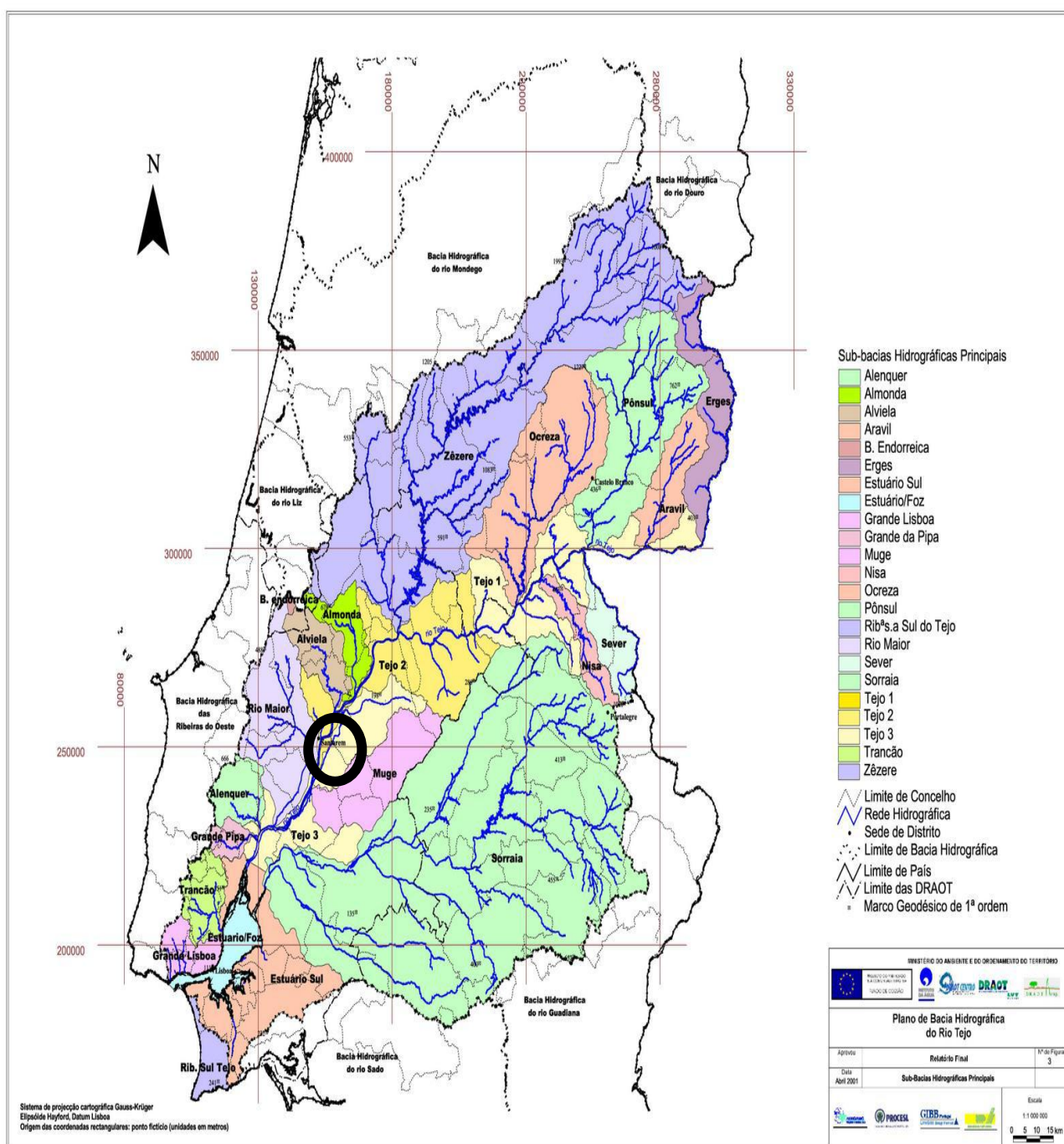
WCED (1987). World Commission on Environment and Development (Brundtland Commission). *Our common future*. Oxford : Oxford University Press (ed.).

WFN (2008). Water footprint network. [Online] <http://www.waterfootprint.org>.

WFN (2010). WFN Grey water footprint working group final report, coordinated by Erika Zarate. *A joint study developed by WFN partners*. The Netherlands : Water Footprint Network.

Anexos

ANEXO I – PLANO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO TEJO



Fonte: SNIRH

FIGURA 16- Sub-bacias hidrográficas principais da Bacia Hidrográfica Do Tejo.

Nota: O Distrito de Santarém encontra-se assinalado na imagem, mais precisamente na zona pertencente à sub-bacia Tejo 3.